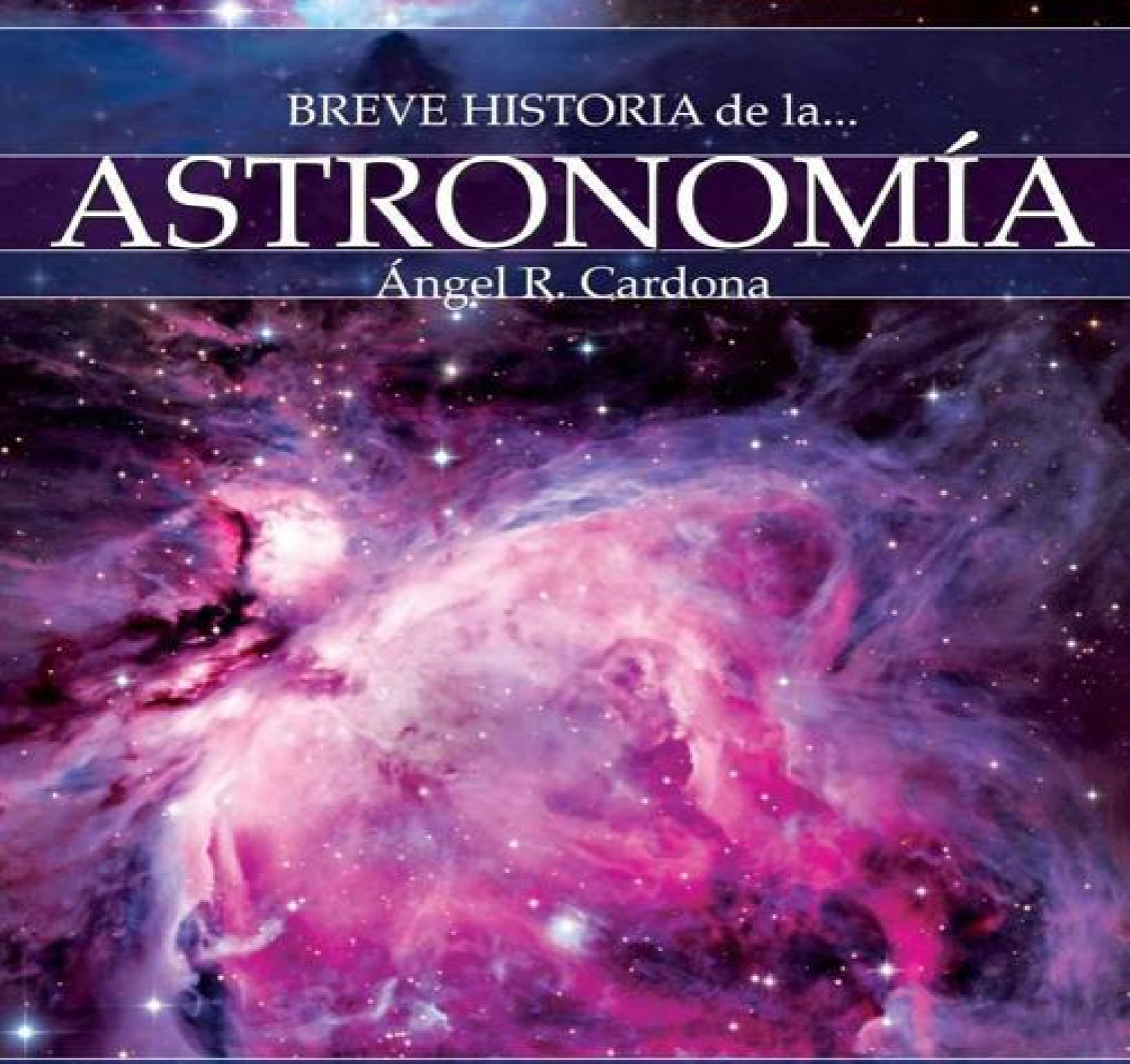
BREVE HISTORIA de la...

ASTRONOMÍA

Ángel R. Cardona



La apasionante historia del estudio del universo, desde la Antigüedad, la revolución heliocéntrica y los grandes astrónomos hasta los conocimientos más actuales de astrofísica. Descubra cómo se explora el cielo profundo, las técnicas e instrumentos y las últimas teorías y horizontes de la cosmología

nowtilus
saber

Breve historia de la astronomía

Breve historia de la astronomía

Ángel R. Cardona

Colección: Breve Historia
www.brevehistoria.com

Título: Breve historia de la astronomía
Autor: © Ángel R. Cardona
Director de la colección: José Luis ibáñez Salas

Copyright de la presente edición: © 2012 Ediciones Nowtilus, S.L.
Doña Juana I de Castilla 44, 3º C, 28027 Madrid
www.nowtilus.com

Responsable editorial: Isabel López-Ayllón Martínez

Reservados todos los derechos. El contenido de esta obra está protegido por la Ley, que establece pena de prisión y/o multas, además de las correspondientes indemnizaciones por daños y perjuicios, para quienes reprodujeren, plagiaren, distribuyeren o comunicaren públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, o su transformación, interpretación o ejecución artística fijada en cualquier tipo de soporte o comunicada a través de cualquier medio, sin la preceptiva autorización.

ISBN edición impresa: 978-84-9967-504-6
ISBN impresión bajo demanda: 978-84-9967-505-3
ISBN edición digital: 978-84-9967-506-0
Fecha de edición: Abril 2013

Maquetación: www.taskforsome.com

A mi amor

Introducción

1. Las primeras culturas y la bóveda celeste
    El círculo de Goseck
    El disco celeste de Nebra
    Megalitos: Carnac y Stonehenge
    Astronomía en el antiguo Egipto
    Astronomía babilónica
    Astronomía antigua china
    Astronomía precolombina

2. La Tierra, centro del universo
    La astronomía en la Grecia clásica
    Roma y el calendario
    Oriente entra en escena
    Las tinieblas científicas de la Edad Media

3. La revolución heliocéntrica
    El Sol, centro del universo: Copérnico
    Los cálculos se hacen más precisos: Brahe y Kepler
    El telescopio nos acerca el firmamento: Galileo Galilei
    La observación telescópica: el legado de Galileo
    Las leyes de la dinámica celeste: Newton

4. Astronomía moderna
    La luz nos informa del pasado del universo
    El movimiento de los cometas
    Catalogando las estrellas
    Las matemáticas dinamizan los cuerpos celestes
    Surgen nuevas técnicas instrumentales
    ¿Qué sabemos hasta ahora?: estrellas, planetas, satélites, asteroides…

5. La astronomía de nuestro tiempo
    ¿Las estrellas no son inmutables sino que nacen, evolucionan y mueren?

Las galaxias y sus agrupaciones
¿Qué son los agujeros negros?
Existen planetas fuera del sistema solar
El universo se expande. El Big Bang y la historia del tiempo
Observatorios astronómicos y nuevas técnicas instrumentales
La astronáutica. El viaje a las estrellas

6. El futuro de la astronomía
La vida en otros planetas. El proyecto SETI
Los agujeros de gusano y los viajes intergalácticos
La energía oscura y el fin del universo
¿Y después? ¿Hacia un nuevo principio? Los universos paralelos

Bibliografía

Introducción

Este es un libro de magia y de sueños.

La observación celeste comenzó como un intento de averiguar el designio de los dioses, de interpretar sus intenciones y vaticinar sus consecuencias. Los humanos consideraban que todo aquello que ocurriera en los cielos les permitiría conocer los acontecimientos futuros, y los sacerdotes, denominados así o de cualquier otra manera, al servicio de los señores de la Tierra, se encargaban de descifrarlos. De ahí que se imaginase mágico todo aquello que ocurriera en el firmamento celeste; se consideraba como el anuncio una buena cosecha o de un año de hambruna, el éxito en una batalla, el augurio del final de un reinado, o cualquier otra situación que a ojos de los poderosos, o simplemente del pueblo, pudiese afectar gravemente su bienestar.

Y esto trajo dos consecuencias, una positiva como fue el desarrollo del escrutinio del firmamento –la astronomía– y de las técnicas que lo posibilitaron, que sin el mecenazgo de los poderosos nunca habría sido posible; y otra negativa, la consolidación de la creencia popular de que mediante el estudio de los astros –la astrología– se podía conocer nuestro futuro más o menos cercano.

Los orígenes de esta última se remontan a la Babilonia de hace cuatro milenios, pero, como sabemos, se mantienen firmes en la actualidad en la conciencia popular a través de los horóscopos. Estos, en realidad, son las representaciones de las posiciones planetarias de los astros de nuestro sistema solar (los planetas, la Luna y el Sol) en su *viaje* anual sobre el plano por el que se traslada la Tierra respecto a nuestra estrella –la denominada eclíptica–, a través de las doce partes iguales en que se divide la bóveda celeste. Estas regiones incluyen las constelaciones cuyos nombres originan los de los conocidos signos del Zodiaco (Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpio, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis). La fecha, hora y lugar de nacimiento de una persona o de un determinado acontecimiento, permite encuadrarla en una región zodiacal, y a partir de eso, mediante una interpretación totalmente subjetiva, los astrólogos realizan sus particulares predicciones.

En la antigüedad, astrología y astronomía estuvieron íntimamente ligadas. La segunda no hubiera podido desarrollarse sin el empuje supersticioso de la primera. Pero, poco a poco, a medida que se

levantaban las tinieblas oscurantistas en la historia de la humanidad, ambas se fueron separando hasta que los conocimientos del Renacimiento situaron a la astronomía como la ciencia que hoy conocemos, y desplazaron a la astrología a los terrenos del esoterismo y superchería que le corresponden.

Pero también decimos que este es un libro de sueños.

El sueño del hombre siempre ha sido conocer su origen y su destino. Quiénes somos, de dónde venimos, hacia dónde vamos, no sólo son tres grandes preguntas, son las preguntas por excelencia. Y la astronomía da cumplida respuesta a cada una de ellas.

A lo largo de este libro nos adentraremos en los caminos del conocimiento que nos permitirán contestarlas, y con ello nos descubriremos a nosotros mismos, nos descubriremos volando con nuestra imaginación a esos mundos que de niños imaginábamos, nos descubriremos asombrándonos con las maravillas que el universo contiene, nos descubriremos sorprendiéndonos con el futuro que nos espera en los siglos venideros, nos descubriremos, en suma, disfrutando con el mayor de los espectáculos que la naturaleza pone a nuestro alcance, aquel que nos hace vivir nuestras más fantásticas, prodigiosas e inimaginables ilusiones, porque la astronomía está hecha del material del que se componen los sueños.

1

Las primeras culturas y la bóveda celeste

Es muy sugerente imaginar cómo empezó todo. Cómo un ser humano decidió mirar al cielo *con otros ojos*, ojos escrutadores que no sólo contemplaban el firmamento, sino que eran capaces de ir más allá, y cuándo ocurrió esto.

Inmersos en una bóveda celeste de luces cambiantes y peregrinas, los hombres debieron de preguntarse por su significado y por su influencia en el devenir de los acontecimientos. La mezcla de motivos religiosos, mágicos y algunos razonamientos primarios dieron como resultado diversos escenarios cuyos testimonios hoy conocemos a través de los restos arqueológicos encontrados en la faz de la Tierra.

La arqueoastronomía es actualmente la disciplina científica que intenta iluminar los descubrimientos arqueológicos mediante los conocimientos astronómicos de las culturas antiguas.

Se considera a *sir* Norman Lockyer (1836-1920), que fue director de la revista *Nature*, el padre de esta disciplina. Sentó sus bases con la publicación del libro *The dawn of astronomy* (1894), y uno de sus primeros trabajos de campo fue, en 1901, la datación astronómica de Stonehenge.

En los años sesenta del siglo pasado, se da un nuevo empuje a la investigación arqueoastronómica con el trabajo del astrónomo Gerald Hawkins (1928-2003), que empleó primitivas computadoras para determinar los alineamientos astronómicos de Stonehenge. Estos estudios alcanzan el estatus de disciplina científica gracias a la obra de Alexander Thom (1894-1985), profesor de ingeniería de la Universidad de Oxford, que con la publicación de su libro *Megalithic sites in Britain* (1967) sentó las bases metodológicas de la arqueoastronomía, disciplina que convertiría en una herramienta muy útil para entender la profunda relación que existía entre la astronomía y la cultura de los pueblos primitivos.

En este primer capítulo comentaremos los más importantes vestigios encontrados de esas culturas e intentaremos darles un significado mediante un viaje virtual en el tiempo que nos permita situarlos

en el contexto histórico en el que surgieron.

El círculo de Goseck

Cuando se sobrevuelan los campos cercanos a la ciudad de Goseck, en el estado alemán de Sajonia-Anhalt, se observa un círculo de unos setenta y cinco metros de diámetro que representa los restos del observatorio astronómico más antiguo que se conoce.

El círculo de Goseck, que se halla en esa ciudad alemana, fue construido hacia el V milenio a. C. y parece ser, por los restos encontrados, que se celebraban en él rituales de diversos tipos además de observaciones astronómicas.

Originariamente consistía en cuatro círculos concéntricos, un montículo en el medio, un foso y dos empalizadas de la altura de una persona. Tenía también tres puertas, orientadas al sudeste, al sudoeste y al norte.

Estos restos fueron observados por primera vez desde el aire por un piloto en 1991, pero hasta 2003 los científicos no determinaron la datación de la construcción, que se fechó en torno al 4600 antes de Cristo.

Un observador situado en el túmulo central el día del solsticio de invierno (21 de diciembre en el hemisferio norte), verá salir el Sol por la puerta sudeste y ocultarse por la puerta sudoeste. Estas están separadas exactamente 100º, ángulo que correspondía a las posiciones opuestas del Sol ese día en la época en que se construyó el círculo, según han estimado los científicos.

Las excavaciones realizadas en las cercanías de Goseck han exhumado cabañas, restos de cerámica, una amplia variedad de granos y pruebas de domesticación de animales. En el observatorio se han encontrado también diversos restos de esqueletos humanos a los que se les había arrancado toda la carne antes de enterrarlos, por lo que pudiera ser que en los círculos se realizasen también sacrificios humanos o extraños ritos funerarios.

El disco celeste de Nebra

Este extraño objeto está íntimamente ligado con el círculo de Goseck por su cercanía geográfica, ya que fue encontrado en 1999 a unos veinticinco kilómetros de distancia, en el monte Mittelberg, cerca de Nebra, también en el estado de Sajonia-Anhalt.

La génesis de su hallazgo es del todo detectivesca, ya que unos muchachos que buscaban armas militares abandonadas en la zona dieron con un depósito, rodeado de grandes piedras que lo ocultaban, que contenía un disco clavado verticalmente en el suelo, acompañado de dos espadas, dos hachas, unos brazaletes y un escoplo. Una vez extraídos los restos, los vendieron en el mercado negro de coleccionistas. Uno de los compradores se puso en contacto con los museos de Prehistoria de Múnich y Berlín, y les ofreció los restos por una cantidad exorbitante, a lo que el director de este último, Wilfried Menghin, le manifestó que el propietario legítimo del tesoro prehistórico era Patrimonio Nacional. Después de este frustrado encuentro no hubo más noticias de este asunto hasta que, en 2002, de nuevo aparecieron a la venta objetos del conjunto de Nebra, lo que permitió a la policía poner en marcha una investigación que acabó con la detención de los implicados y la recuperación del tesoro.

El disco celeste de Nebra, que data del II milenio a. C., se realizó en bronce con varias incrustaciones relativas a objetos celestes e incluso con otra serie de ellas que bien podrían utilizarse con fines astronómicos.

Los científicos han datado los objetos en el 1600 a. C., unos treinta y tres siglos después de los restos de Goseck. El disco de bronce de un peso de aproximadamente dos kilos tiene un diámetro que oscila entre los treinta y uno y los treinta y dos centímetros y un grosor de un milímetro y medio en el exterior, que va aumentando hasta los cuatro y medio en el interior. Es ligeramente cóncavo. No se sabe cuál era su color original, ha adquirido una coloración verdosa a causa del revestimiento actual de carbonato de cobre.

Una vez estudiado y analizado el disco celeste, se comprobó que el originario había sufrido una serie de modificaciones a lo largo de los años a medida que iban avanzando los conocimientos y quizá también debido a las variaciones que experimentaba su uso. Se han podido constatar hasta cuatro fases:

1. Incrustación de un disco solar, una Luna creciente y treinta y dos estrellas que parecen

representar las Pléyades que desaparecen del cielo boreal en primavera y reaparecen a principios del otoño.

2. Se añaden dos arcos separados 82,5º en el horizonte, orientados este-oeste, que representan la salida y puesta del Sol.
3. Se añade una barca solar entre los dos arcos del horizonte como símbolo religioso.
4. Hasta un total de treinta y ocho perforaciones en el borde, distribuidas en espacios regulares, lo que sugiere el intento de emplear el disco periódicamente.

Ambos objetos sugieren que los pueblos del Neolítico y de la Edad del Bronce fueron capaces de hacer ya en aquel tiempo mediciones astronómicas y, además, con muchísima más precisión de la que los científicos pensaban hasta entonces.

Megalitos: Carnac y Stonehenge

Allá por el 10000 a. C. las culturas prehistóricas comienzan a evolucionar en su modo de vida pasando de ser cazadores, pescadores y recolectores a adoptar una forma más sedentaria y convertirse en agricultores y ganaderos. Se trata del paso continuo del Paleolítico al Mesolítico, que acaba culminando allá por el 6500 a. C., en Europa, en el período Neolítico.

Es en esta época cuando surge la llamada cultura megalítica, término que procede de las palabras griegas *mega*, 'grande', y *lythos*, 'piedra', que dura hasta la Edad del Bronce. Se caracteriza dicha cultura por la construcción de monumentos y grandes esculturas de piedra, de los que se pueden encontrar restos en todo el mundo, aunque en nuestro caso vamos a ceñirnos a la que se desarrolló en la Europa atlántica y el Mediterráneo Occidental.

Las construcciones megalíticas que se han encontrado corresponden principalmente a dos tipos de asentamientos, los funerarios y los religiosos.

A los primeros pertenecen los *dólmenes*, término procedente del bretón que significa 'mesa de piedra' (de *dol*, 'mesa' y *men*, 'piedra') y que, por lo general, consisten en varias losas hincadas en la tierra en posición vertical y otra de cubierta apoyada sobre ellas en horizontal. El conjunto conforma una cámara que, cuando se sujeta rodeándola con tierra o piedras, que pueden llegar a cubrir las losas verticales total o parcialmente, forman una colina artificial, un *túmulo*, que reconocemos como lugar de enterramientos.

A los segundos pertenecen los *menhires*, término que significa 'piedras largas' y que resulta de la unión de dos palabras también bretonas: *men*, 'piedra', e *hir,* 'larga'. Algunos de ellos se empleaban con fines funerarios, quizá a modo de lápidas, pero otros tenían significado religioso.

La combinación de ambos da lugar a los *alineamientos* y a los *crómlech*.

Los alineamientos de menhires consistían en ordenamientos lineales de estas piedras, colocadas a intervalos más o menos regulares a lo largo de un eje o de varios. El más famoso es el de Carnac, en Francia.

Los crómlech, término procedente del galés, que significa 'piedra plana colocada en curva' (de *crown*, 'curvada', y *lech,* 'piedra plana'), constituyen monumentos megalíticos formados por piedras o menhires clavados en el suelo y que adoptan una forma circular o elíptica. El más conocido es el de Stonehenge, en Inglaterra.

Comenzaremos comentando el más antiguo, el alineamiento de Carnac (4500 a. C.-2000 a. C.). Las piedras que lo formaban eran originariamente unas diez mil, de las que hoy sólo quedan cerca de tres mil, distribuidas en cuatro grandes agrupamientos: Le Ménec, Kermario, Kerlescan y Le Petit Menéc.

Los alineamientos de Carnac se realizaron entre el III y IV milenio a. C. en esa población de la Bretaña francesa. Están formados por menhires y crómlech y servían para observar las diversas fases de los movimientos de algunos cuerpos celestes.

El agrupamiento de Le Ménec está formado por 1099 menhires dispuestos en once hileras de cien metros de ancho por 1,2 kilómetros de largo. Es el mayor de los cuatro. Las hileras no son rectas, sino que describen una suave curva hacia el nordeste. Está flanqueado por dos crómlech uno oriental y el otro occidental.

Sin embargo, el más famoso es el alineamiento de Kermario, situado al este del anterior, que posee 982 menhires en diez hileras que se extienden a través de 1,2 kilómetros. Aquí se hallan las piedras más grandes del grupo de Carnac: la mayor supera los siete metros de altura.

Al este se encuentra el alineamiento de Kerlescan, que consta de quinientas cuarenta piedras, organizadas en trece hileras de ciento treinta y nueve metros de ancho y ochocientos ochenta de largo. En su extremo occidental hay un crómlech de treinta y nueve menhires. Siguiendo en esa dirección se encuentra por fin el agrupamiento de Le Petit Menéc, que en realidad podría ser una extensión del de Kerlescan y que sólo cuenta con unos cien menhires.

El papel desempeñado por estos alineamientos no queda claro, desde el puramente ritual al funerario, pasando por el mágico o astronómico de aquellos días. Los druidas, que eran los hechiceros o sacerdotes de estas culturas, bien pudieron utilizarlos para sus fines religiosos o mágicos que entonces se mezclaban entre sí. El francés Jacques Cambry, en 1794, fue el primero que sostuvo que las piedras de Carnac se refieren a cuerpos celestes, estrellas, planetas o signos del zodiaco. En 1970, el ingeniero británico Alexander Thom empleó las ideas vertidas por el astrónomo Gerald Hawkins en sus estudios sobre Stonehenge y las aplicó a Carnac. Este científico afirma que Carnac es un observatorio astronómico apto para predecir eclipses, posiciones de la Luna e incluso los solsticios y equinoccios solares, lo que a modo de calendario les permitía a sus constructores en realidad conocer los momentos más importantes del ciclo anual para su vida agrícola.

Como comentamos anteriormente, el crómlech más representativo es el de Stonehenge, situado en la llanura caliza de Salisbury, condado de Wiltshire, a unos cien kilómetros al oeste de Londres, en Inglaterra. Se trata de una de las más fascinantes construcciones de la historia, no sólo por su origen, antigüedad o complejidad, sino por los enigmas que plantea todavía hoy a los investigadores.

Se desconoce su finalidad, aunque bien hubiera podido utilizarse como templo religioso, monumento funerario, complejo astronómico para predecir estaciones o incluso para todas estas funciones.

El monumento megalítico de Stonehenge, situado en Salisbury (Inglaterra), se construyó en tres fases entre el IV y el II milenio a. C. Su finalidad, hoy en día, no se conoce totalmente, puesto que cumple con las necesidades de un templo religioso, un monumento funerario y sobre todo, con las de un centro astronómico.

Los primeros escritos de los que tenemos referencia en cuanto a este complejo datan de la Edad Media y debemos agradecérselos a Geoffrey de Monmouth (hacia 1100-1154 d. C.), obispo de San Asaph, que lo califica como un monumento a la «Danza de los Gigantes», aunque también sugiere que pudiera ser un lugar de enterramiento masivo de enemigos del rey. No en vano, *Stonehenge* significa 'piedra del ahorcado'. Más adelante, en el siglo XVII, el rey Jacobo I de Inglaterra encargó su investigación al arquitecto Iñigo Jones, que llegó a la conclusión de que era un templo romano dedicado a las deidades celestes.

Su supuesto origen retrocedió varios siglos cuando John Aubrey (1626-1697), escritor y estudioso de los monumentos megalíticos de Inglaterra, sugirió que Stonehenge era un templo construido por los druidas, teoría que también defendía en la misma época el médico y masón William Stukeley (1687-1765), famoso por relatar la «historia de la manzana», por todos conocida, al redactar la biografía de su amigo *sir* Isaac Newton. Con el tiempo, todas estas creencias fueron convirtiendo Stonehenge en un centro mágico, y tanto fue así que los miembros de la Antigua Orden Unificada de Druidas, creada en 1833, tomaron estos restos arqueológicos como centro de culto

hasta 1985, año en que las autoridades británicas decidieron hacerse cargo de su protección y conservación, y en el que prohibieron la celebración de este tipo de rituales.

La construcción cuenta con diversos componentes: trilitos o dólmenes (dos pilares de piedra de poco más de cuatro metros, coronados por un dintel), monolitos o menhires (de unos dos metros hasta de ocho el mayor), y el crómlech, entre otras.

Su estructura se compone de una zona interior y de otra exterior.

La zona interior está delimitada por un círculo de casi treinta metros con treinta columnas rectangulares coronadas con dinteles (de los que hoy sólo existen algunos), a continuación hallamos un segundo anillo con sesenta menhires de piedra azulada de casi dos metros de altura cada uno; más hacia el centro se encuentra una formación en herradura con cinco trilitos de gran tamaño que a cada lado tienen otros dos de tamaño decreciente. Si seguimos avanzando, existe otra formación en forma de herradura con diecinueve menhires de piedra azul de una altura inferior a los anteriores, y ya en el centro se encuentra la denominada Piedra del Altar, de 4,8 metros de largo, que yace sobre el terreno y resulta muy brillante a la exposición solar por contener aluminio en grandes cantidades.

La zona exterior comienza con dos círculos con treinta agujeros cada uno, llamados agujeros Y y agujeros Z. Más al exterior, el círculo de Aubrey (en honor a su descubridor, *sir* John Aubrey) con cincuenta y seis agujeros que circunvalan el conjunto. A continuación, dos monolitos de 2,7 y 1,2 metros respectivamente, y dos montículos de tierra compactada, dispuestos alternadamente, llamados las Cuatro Estaciones, que forman un rectángulo perfecto. Sigue un foso circular de 97,5 metros de diámetro que rodea todo lo anterior, y un camino procesional de veintitrés metros de ancho y tres kilómetros de longitud, aproximadamente, que corta el círculo de Aubrey y el foso. Por último, encontramos la denominada Piedra Talón, de poco más de seis metros de alto y un peso superior a las treinta y cinco toneladas, situada a treinta y siete metros hacia el noroeste del pórtico, por el camino de acceso.

En realidad, esta construcción se llevó a cabo en tres fases perfectamente diferenciadas y en un período de tiempo de unos 1.500 años. La primera comenzó alrededor del 2800 a. C., aunque se han encontrado restos anteriores que se remontan al 3100 a. C. Se empezó construyendo el foso circular más exterior y la estructura denominada Cuatro Estaciones, así como la Piedra Talón. La segunda fase comienza hacia el año 2100 a. C., que es cuando se erige casi todo el conjunto, dejando para la tercera fase, hacia el 1500 a. C., la colocación de la Piedra del Altar así como la recolocación de los menhires azulados hacia el interior del círculo, tal y como se encuentran en la actualidad. Alrededor del 1100 a. C. se abandona Stonehenge.

Como curiosidad, y con el fin de hacerse una idea aproximada de la magnitud del proyecto, es preciso indicar que las piedras de arenisca azul provenían de las montañas de Precelly, situadas a trescientos veinte kilómetros en el sudoeste de Gales. Las piedras silíceas, algunas de las cuales llegaban a pesar hasta veintiséis toneladas, se trajeron desde las colinas de Malborough, a unos treinta kilómetros al norte, y la Piedra del Altar fue acarreada desde el sur de Gales.

El objetivo astronómico de Stonehenge quedó patente gracias al astrónomo británico *sir* Norman Lockyer (1836-1920), que se percató de que mirando hacia la Piedra Talón podía observar con gran

exactitud el sitio por donde sale el Sol en el solsticio de verano, el 21 de junio.

Asimismo, los dos montículos y menhires denominados las Cuatro Estaciones, ubicados en el foso circular, están alineados para marcar las salidas y puestas de Sol durante los solsticios de verano e invierno. Estos objetos también señalan la salida y puesta de la Luna en esos solsticios.

En la actualidad sabemos que Stonehenge originalmente se construyó como templo dedicado a mostrar los movimientos del Sol y de la Luna: se trataba de un arcano observatorio astronómico. Algunos investigadores han querido llegar más lejos y han propuesto que en este observatorio también se pueden estudiar los alineamientos lunares e incluso predecir los eclipses de Sol, pero no hay comprobaciones fidedignas al respecto. Posiblemente, con el tiempo la piedra del ahorcado, monumento declarado Patrimonio de la Humanidad por la Unesco, todavía nos proporcione nuevas sorpresas.

Una de las maravillas de Stonehenge es contemplar el solsticio de verano a través de la estructura denominada las Cuatro Estaciones. También desde esa posición se puede observar el de invierno, así como la salida y la puesta de la Luna en esas fechas.

Astronomía en el antiguo Egipto

Si ha habido un pueblo que haya vivido con más intensidad los ritos religiosos relacionados con su influencia en la vida cotidiana y en su viaje a la vida eterna, ese ha sido el pueblo egipcio, cuya civilización se extendió convencionalmente desde el 3150 a. C. hasta el 31 a. C., cuando las tropas romanas lo conquistaron.

Bien sabido es que eran enfervorizados adoradores del dios del Sol, que denominaban Ra, a quien agradecían o solicitaban sus favores y del que los faraones constituían su encarnación en la tierra.

Como en cualquier otra cultura arcaica, eran los sacerdotes los encargados de realizar las ofrendas y los rituales. Algunos de ellos se encargaban de escrutar los cielos durante el día estudiando al astro rey y por las noches vigilando las estrellas y los otros cuerpos celestes con gran dedicación.

Su más conocida aportación en este campo fue el calendario solar, pues fue el primero del que tenemos constancia en la historia, y la base del nuestro. Se encuentra detallado en el denominado papiro Rhind, escrito durante el reinado de Apofis I, que resulta ser una copia de un documento más antiguo, del siglo XIX a. C., aunque se piensa que se empleaba ya en el siglo XVIII a. C. Constaba de doce meses de treinta días cada uno y cinco días adicionales, los *epagómanos*, en los que se festejaba el nacimiento de cinco deidades egipcias: Osiris, Horus, Seth, Isis y Neftis.

Los egipcios comenzaron empleando un calendario lunar, pero comprobaron que les resultaba inútil para pronosticar la llegada del mayor de sus acontecimientos: la crecida del Nilo y la consiguiente inundación y fertilización de sus tierras. En cambio, el calendario solar permitía a los sacerdotes predecirla. La primera aparición de la estrella Sirio por el horizonte este de Menfis, su capital en aquellos tiempos, coincidía con el desbordamiento del Nilo y fijaba la primera de sus tres estaciones, la inundación, que comenzaba a finales del verano y duraba todo el otoño; la segunda, la siembra, que duraba el invierno alcanzando hasta el comienzo de la primavera, y la tercera, la recolección, la cual sucedía durante la primavera y abarcaba todo el verano.

Dado que el año solar dura algo más de los 365 días, y con el fin de que cada año las festividades no se desplazasen un día cada cuatro años, de manera que con el tiempo se acababa celebrando el verano en invierno, los sacerdotes egipcios decidieron en Canopus –ciudad portuaria cerca de Alejandría–, reformar el calendario añadiéndole un día cada cuatro años; es decir, existiría un año de 366 días: había nacido nuestro año bisiesto.

Distinguían hasta cuarenta y tres constelaciones y dividían el tiempo en treinta y seis decanos de cuarenta minutos cada uno, lo que les daba los 1.440 minutos de nuestro día. Construyeron relojes, el de Sol y el de agua –clepsidra–, para medirlo. Incluso fabricaron el *merkhet*, un instrumento para apreciar con bastante precisión el alineamiento estelar con el objetivo de medir el tiempo durante la noche, cuando eran inútiles los relojes de sol.

Son muchas las teorías acerca de las alineaciones de los templos y las pirámides egipcios con determinados puntos estelares, aunque la mayor parte no son ciertas. Entre las más verosímiles se encuentra la que supone que el templo de Amón-Ra en Karnak se construyó de manera que en el orto y en el ocaso del solsticio de verano, la luz del Sol entraba en el templo a través del eje del santuario, para así fijar la fecha con exactitud.

Otro de los restos astronómicos más destacados es el llamado Zodiaco de Dendera, un magnífico bajorrelieve esculpido en el pórtico de una cámara dedicada a Osiris en el templo de Hathor en Dendera, cerca de Luxor. Parece ser que el relieve data del 50 a. C. –finales del período Ptolemaico– y representa las constelaciones de Libra y Tauro. Actualmente se conserva en el Museo del Louvre, en París.

Grabado del siglo XIX que representa el Zodiaco de Dendera, originalmente esculpido hacia el 50 a. C. en el pórtico de una cámara dedicada a Osiris en el templo de Hathor. Actualmente el bajorrelieve original está expuesto en el parisino Museo del Louvre.

Por último, y como un reflejo más de la influencia que atribuían a los acontecimientos celestes en su vida cotidiana y en su *viaje* tras la muerte, es digno de mención el hecho de que los techos de muchas de las tumbas faraónicas halladas en el Valle de los Reyes estén adornados con motivos astronómicos.

Astronomía babilónica

De los pueblos asentados en la llanura mesopotámica, a las orillas del Éufrates, los conocidos como amorritas consolidan en el siglo XVIII a. C. el imperio que llamamos paleobabilónico, que se mantuvo hasta el 1595 antes de Cristo.

Ya en aquella época observaban los cielos y basaban sus predicciones en los eclipses solares y lunares, tal y como atestiguan tablillas de arcilla de la época encontradas en diversos yacimientos arqueológicos.

Adoptaron el sistema sexagesimal, cuya base es el número sesenta, para medir tiempos y ángulos, lo que les facilitó los cálculos posteriores de los movimientos de los objetos celestes.

De esta época data el mito babilónico de la creación que ha llegado a nuestros días recogido en unas tablillas con caracteres cuneiformes, se trata del *Enuma Elis*, escrito doce siglos antes de la era cristiana, y que relata el nacimiento del mundo a partir del caos primordial.

Más adelante, se funda el Imperio neobabilónico, de origen caldeo, que se extendió desde el 625 a. C. al 547 a. C. A partir del siglo VIII a. C., los conocimientos astronómicos de la cultura babilónica alcanzan su mayor auge.

Kudurru (mojón de límite de propiedad) del rey Melishipak I (siglo xii a. C.) con el texto de una donación de tierras a su hijo Marduk bajo la protección de las grandes divinidades: la Luna creciente (el dios Sin), el Sol (el dios Shamash) y la estrella (la diosa Ishtar). Museo del Louvre, París.

Se sabe que midieron con precisión la duración del mes y la revolución de los planetas. Conocían cinco de ellos, Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, que denominaban *estrellas errantes*, en contraposición con las estrellas fijas de la bóveda celeste. Y calculaban sus posiciones, tal y como se muestra en las tablillas cuneiformes encontradas. Observando detenidamente el movimiento lunar se percataron de que su velocidad aumenta linealmente durante la mitad de su revolución para ir descendiendo hasta el final del ciclo, de manera que consiguieron perfeccionar la determinación de sus fases hasta lograr predecirlas a lo largo del mes.

También recogieron la observación del eclipse solar sucedido el 15 de junio del 763 a. C. Sólo los astrónomos chinos tienen documentado uno anterior.

Como hemos comentado, la Luna ocupaba una buena parte de su atención, así que su calendario se basaba en el ciclo lunar, de manera que el primer día del mes era el siguiente a la Luna nueva, y

cada doce meses de treinta días pasaba un año. El desfase frente a la duración real se resolvía agregando de vez en cuando un mes más. Sólo a partir del siglo IV a. C. se resolvió este conflicto fijando que se intercalasen siete meses cada diecinueve años, y a este calendario se le denominó *lunisolar*.

Ya en el siglo XVIII a. C. se agrupaban las estrellas, y hay restos arqueológicos que datan del siglo VI a. C. donde se muestran las constelaciones. Muchas de las que conocemos ahora, incluso sus nombres, proceden de la época babilónica, aunque hoy sólo son visibles unas pocas.

Astronomía antigua china

Su lejanía y aislamiento de Occidente provocó que la astronomía de China evolucionara de manera diferente en sus concepciones del espacio y su devenir, y sólo en las últimas centurias hemos podido conocer sus grandes avances en la observación del firmamento en los tiempos antiguos.

Los conocimientos astronómicos chinos están ligados a la corte imperial de la que dependían sus observadores. Los astrónomos trabajaban en exploraciones simultáneas y regulares desde diversos emplazamientos repartidos por todo el país. Las primeras observaciones astronómicas chinas datan del año 4000 a. C. En aquella época consideraban que la estructura del universo colgaba de una estrella (la actual estrella polar) y que el firmamento estaba dividido en cuatro grandes Palacios Celestes, cuyos nombres eran simbólicos según la filosofía *wuxing*, y relacionados con su posición y con las estaciones: el Dragón Verde para el este y la primavera, el Pájaro Rojo para el sur y el verano, el Tigre Blanco para el oeste y el otoño, y la Tortuga Negra para el norte y el invierno.

Asimismo, el cielo estaba dividido en veintiocho segmentos, llamados Mansiones Lunares, siete por cada palacio. Cada una de estas mansiones estaba definida por una determinada constelación, y en total englobaban a 284 de ellas.

La imagen china del universo se expresa en el tratado llamado *Chou pei suan ching*, escrito alrededor del siglo IV a. C. y que suponía al cielo como una cubierta plana sobre una Tierra también plana separados ambos por unos cuarenta mil kilómetros.

Los estudios del firmamento y sus objetos estaban muy desarrollados porque eran considerados, como en el resto de las culturas antiguas, presagios de acontecimientos venideros.

Ya en el 2350 a. C. habían desarrollado un completo calendario solar y conseguido una descripción bastante detallada de las Pléyades. El primer registro escrito de un eclipse de Sol data del año 2137 antes de Cristo.

En el 1200 a.C., durante la dinastía Shang, realizan la primera anotación de manchas solares, que los chinos denominaban *motas oscuras* en el Sol. A medida que avanzan los años, sus observaciones y medidas se hacen más precisas; en el 776 a. C. se registra un eclipse lunar; en el 532 a. C., la aparición de lo que llamaban una *estrella huésped* (en realidad una supernova) en la constelación del Águila, y ya en el en el 467 a. C., el paso de un cometa, al parecer el Halley.

El primer mapa celeste se debe al astrónomo Shih Shen (350 a. C.), que ubica en él a ciento veintiún estrellas.

Manuscrito realizado en seda, encontrado en la tumba de dos aristócratas chinos en la colina de Mawungdui, en el cual se representan hasta veintinueve cometas. Data de la época de la dinastía Han, hace unos veintidós siglos. Algunos la consideran el primer catálogo de cometas.

En el 210 a. C., la dinastía Qin acaba y en esa época la cosmología china se desarrollaba en dos corrientes: los confucionistas, de la mano de Hun Thien, que consideraban el universo esférico, y los taoístas, según la concepción de Hsuan Yeh, que lo imaginaban sin forma, infinito y vacío.

Sus avances continúan, y durante la dinastía Han, en el 104 a. C,, los chinos consiguen determinar la duración del año, que estiman en 365,25 días.

Uno de los científicos más notables fue Zhang Heng (78-139) que destacó como pintor, matemático y astrónomo. Trazó un mapa estelar en el que colocó dos mil quinientas estrellas e incluso construyó el primer sismógrafo.

Astronomía precolombina

Las culturas de la América precolombina mostraron un gran interés por el estudio del firmamento y los movimientos celestes. Los restos encontrados de sus logros así lo manifiestan. Las diversas civilizaciones existentes antes de la llegada de Colón estaban desarrolladas de manera diferente, algunas habían logrado unos avances técnicos y científicos muy loables. Incluso civilizaciones ya desaparecidas dejaron restos que han permitido a los arqueólogos conocer el grado de complejidad que habían alcanzado sus conocimientos.

Como en otras civilizaciones, el estudio del firmamento estuvo muy ligado a los ritos y ceremonias religiosos. Los chamanes eran los encargados de velar por las ofrendas y el culto a los

dioses, que siempre relacionaban con acontecimientos cosmológicos. Por ello, la observación celeste y los objetos derivados de ella están muy presentes en todas esas civilizaciones.

Las más representativas, la azteca, la maya y la inca, serán el objeto de nuestros comentarios. Además nos detendremos a reseñar dos culturas menores pero responsables de restos muy divulgados en los últimos tiempos, la nazca y la anasazi.

Cultura maya

Los mayas son un grupo de pueblos indígenas que en la época precolombina habitaron buena parte de Mesoamérica y se extendieron por los estados mexicanos de Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Tabasco y Chiapas, en la mayor parte de Guatemala y en regiones de Belice, Honduras y El Salvador, entre los años 1000 a. C. a 1524 después de Cristo.

La casta sacerdotal maya, los *ah kin*, poseían conocimientos matemáticos y astronómicos que utilizaban de acuerdo a sus intereses místicos y predictivos. Los documentos y restos arqueológicos encontrados constatan sus grandes avances en la observación y la comprensión del cosmos.

El calendario maya, una de sus aportaciones más conocidas, consiste en tres diferentes sistemas de contar el tiempo, que transcurren simultáneamente: el calendario sagrado (*Tzolkin* o *Bucxok*, de doscientos sesenta días), el civil (*Haab*, de 365 días) y la cuenta larga.

El calendario *Tzolkin*, que cuenta el tiempo en ciclos de trece meses de veinte días cada uno, se usaba tanto para predecir las lluvias, las temporadas de caza o de pesca, como para actos religiosos.

El *Haab* mide el año solar dividiéndolo en dieciocho meses de veinte días cada uno, y añade cinco días, los *Uayeb*, al final, y los considera de mal augurio. Era la base del calendario religioso colectivo, pues marcaba los ritmos comunitarios y los actos religiosos. Se trata de un calendario cíclico que se repite cada cincuenta y dos años, pues con cincuenta y dos vueltas de *Haab* y setenta y tres vueltas de *Tzolkin* se produce una coincidencia en el día, fecha en la que celebraban la denominada Ceremonia del Fuego Sagrado y se volvían a poner a cero las cuentas, pues había pasado un siglo maya. El conjunto se llamaba Rueda Calendárica.

Finalmente, el calendario de cuenta larga es en realidad un sistema de fechado que consiste en una numeración de varias cifras separadas por puntos, que asocian sus posiciones con bloques de días que se suman mediante un algoritmo sencillo para obtener la cifra total de días. Por ejemplo, la fecha 1.6.6.3.3 correspondería a un bloque de 144.000 días, seis bloques de 7.200 días, otros seis bloques de trescientos sesenta días, tres bloques de veinte días y tres bloques más de un día, en total $6 \cdot 7200 + 6 \cdot 360 + 3 \cdot 20 + 3 \cdot 1 = 189.423$ días a contar desde el primero de los días del calendario, que sería el 0.0.0.0.0 y que según el arqueólogo inglés John Eric Sidney Thompson (1898-1975) correspondería al 11 de agosto de 3114 a. C. de nuestro calendario.

La Rueda Calendárica se conseguía mediante la combinación de los calendarios de 260 y 365, que crea un ciclo de 18.980, que terminaba el día en que se celebraba la Ceremonia del Fuego Sagrado. Se ven en ella los elementos numeral-glifo de los días y numeral-glifo de los meses. Muchos de los monumentos mayas solamente registran la fecha de este ciclo.

Una de las curiosidades actuales es la supuesta fijación del fin del mundo a partir de este calendario maya. El libro *Popol Vuh*, cuya primera versión escrita, originalmente en piel de venado y supuestamente a partir de orígenes orales, y posteriormente transcrito al latín por fray Alonso del Portillo en 1542, contiene una profusa recopilación de leyendas mayas que cuentan el origen del mundo y de nuestra civilización. Según este libro, los primeros dioses crearon tres mundos fallidos y un cuarto, exitoso, que es el del hombre actual. Dado que los mundos fallidos se sostuvieron durante 5.125 años, las corrientes esotéricas actuales suponen que el nuestro acabará también pasado este tiempo, lo cual contado en nuestro calendario desde la fecha de origen del calendario maya, el 11 de agosto de 3114 a. C., correspondería al 21 de diciembre del 2012 (querido lector, ya que estás leyendo estas páginas habrás comprobado que el supuesto *fin del mundo* anunciado por los mayas, no ha sido tal.).

Pero los mayas no sólo diseñaron calendarios, también determinaron el período lunar (el transcurso entre una Luna nueva y otra), que conocemos como *mes sinódico*, en 29,5308 días, prácticamente el mismo dato que en la actualidad. Incluso es suya la primera observación de un eclipse lunar, en el 3379 antes de Cristo.

Se han conservado hasta nuestros días cuatro documentos manuscritos con caracteres jeroglíficos de la época anterior a la conquista, que muestran aspectos variados de la cultura maya. Se trata de códices que se escribieron empleando la corteza interna de una variedad de la higuera tratada

adecuadamente para posibilitar la escritura. Tres de ellos tienen interesantes anotaciones astronómicas: el Códice Dresde se dedica principalmente al movimiento de Venus y a los eclipses lunares; el Códice París estudia trece constelaciones, su zodiaco, que cuelga de una especie de serpiente cósmica; y, finalmente, el Códice Madrid comenta los horóscopos y las tablas astrológicas.

Templo de El Caracol, en Chichen Itzá, construido y restaurado entre los años 800 y 1200. Su nombre proviene de la forma espiral que se dispone en el interior del edificio para acceder a la parte superior. También se le conoce como Templo de Venus, pues la observación de ese astro era una de sus finalidades más importantes.

También examinaron los mayas detenidamente las Pléyades, la Vía Láctea o *Wakah Chan* –serpiente erecta– y la estrella polar, que emplearon como punto de orientación. Casi todos los templos mayas poseen alineaciones de carácter astronómico. Quizá el más importante es el que se ubica en Chichen Itzá (península del Yucatán) y se conoce como El Caracol o El Observatorio, un edificio que se asemeja a un observatorio astronómico moderno, con escaleras interiores en forma de caracol, que fue construido y reconstruido una y otra vez durante su tiempo de uso, que se sitúa entre los años 800 y 1200 d. C. Contiene una torre cilíndrica en cuya estructura se encuentra una pequeña cámara abovedada que se utilizaba como observatorio. La torre está situada sobre dos grandes plataformas rectangulares; la cámara superior tiene unas aberturas cuadradas por medio de las cuales puede observarse la puesta del Sol durante el equinoccio de primavera y el de otoño, y la puesta de la Luna en las mismas fechas.

El monumento arqueoastronómico de la civilización maya más conocido es, sin duda alguna, la Pirámide de Kukulkán, en Chitchen Itzá, también conocida como El Castillo. Esta construcción demuestra los profundos conocimientos de matemáticas, geometría y astronomía que los mayas

poseían. Construido hacia el siglo IX de nuestra era, es de pequeño tamaño en comparación, por ejemplo, con la pirámide de Keops en Egipto, pues alcanza sólo una quinta parte de su altura. Cuenta con nueve niveles o basamentos, cuatro fachadas principales cada una con una escalinata central de noventa y un escalones, y una plataforma superior rematada por un templete, lo que da un total de 365 peldaños.

Pirámide de Kukulkán, en Chichen Itzá, construida en el siglo XII. Desde ella se pueden observar diversos fenómenos de luces y sombras durante los equinoccios y solsticios cada año. En 1988 la Unesco declaró al conjunto arqueológico de Chichen Itzá Patrimonio de la Humanidad.

Cuando tienen lugar los equinoccios de primavera y otoño, las plataformas sobre las cuales está construida la pirámide proyectan sombras triangulares sobre las paredes de las escalinatas que están adornadas con cabezas de serpiente, que simbolizan a Kukulkán (o Quetzalcoatl) –la serpiente emplumada– y provocan la fantástica ilusión de una serpiente que está descendiendo a tierra desde la parte alta de la pirámide. Este fenómeno puede observarse aproximadamente durante un período de cinco días en las fechas más próximas a los equinoccios.

Otro monumento arqueoastronómico maya de especial relevancia es el templo de las Siete Muñecas en Dzibilchaltún, en Yucatán, México, que data de la época entre los años 600 y 900. La luz del Sol lo atraviesa en el amanecer durante los equinoccios, de manera que se introduce proyectando la imagen de las ventanas y la puerta de la parte trasera, y conforme el Sol va elevándose, las imágenes van descendiendo hasta coincidir con la de las dos ventanas y la puerta traseras. Ese es el momento preciso del inicio de la primavera o del otoño.

Por último, en relación con la observación de otros cuerpos estelares destaca el templo del Dios Descendiente de Tulum, Quintana Roo, México, que data de la época de entre los años 1200 y 1450. El hecho de estar ubicado en la zona costera y a una altura desde la que podía contemplarse el horizonte en todas direcciones, lo convertía en un excelente punto de observación, pues era fácil divisar la salida y la puesta de varios cuerpos celestes, especialmente Venus.

Cultura azteca

La civilización azteca o mexica surge tras la caída de la tolteca a partir del siglo X, y obtuvo su máximo esplendor entre los años 1200 y 1521. Se extendía por la zona centro y sur del actual México.

Para los aztecas la astronomía también era muy importante y formaba parte de su religión, como en tantas culturas antiguas. Construyeron observatorios que les permitieron realizar observaciones muy precisas, y llegaron incluso a medir con gran exactitud las revoluciones sinódicas del Sol, la Luna y los planetas Venus y Marte. Como consecuencia de sus observaciones, reunieron las estrellas en grupos de constelaciones. Conocían los cometas, a los que llamaban *Estrellas que humean*, estudiaron los eclipses de Sol y Luna, y desarrollaron sofisticados conocimientos meteorológicos.

El calendario mexica comparte la estructura del ya comentado calendario maya en líneas generales. En este caso está basado en los movimientos de la Tierra y Venus alrededor del Sol, y de la Luna alrededor de la Tierra.

Entre sus restos arqueológicos destaca la denominada Piedra del Sol, también conocida como Calendario azteca, que fue esculpida alrededor del año 1479 y que está labrada en bajorrelieve en un monolito basáltico con un diámetro de 3,6 m y que pesa veinticinco toneladas. Está dividida en cuatro círculos concéntricos, y en su centro se distingue el rostro de Tonatiuh, el Dios Sol. Se encontraba en un destacado lugar en el templo Quauhxicalco de Tenochtitlán. Tras la conquista española permaneció enterrado durante doscientos setenta años, hasta que fue descubierto en 1790. Parece que está relacionada con la Fiesta del Fuego Nuevo, cuya celebración cada cincuenta y dos años coincidió entonces con el año de creación.

La Piedra del Sol, esculpida en basalto, presenta diversas inscripciones cosmogónicas y de cultos solares. En el centro está el Sol actual, el quinto, rodeado por cuatro cuadrados que representan los soles anteriores, y por tres anillos que encierran toda la estructura y contienen símbolos que representan días, meses y años.

Cultura inca

La civilización inca se extendió por lo que hoy son Perú, Bolivia, Ecuador, el sur de Colombia, el norte de Argentina y Chile, y por los Andes Orientales, entre los años 1100 y 1532. Al igual que el resto de las culturas precolombinas desarrolló un importante estudio astronómico de los movimientos del Sol, la Luna y los planetas. Los pobladores de aquella civilización eran adoradores del Sol hasta el extremo de considerar que los reyes eran sus hijos.

Su calendario seguía siendo básicamente el maya, sus templos veneraban al Sol y sus principales festividades se llevaban a cabo para celebrar los solsticios de verano y de invierno. Su apoteosis era la denominada Fiesta del Sol, que se celebraba cada 24 de junio. Las colinas alrededor de Cuzco estaban rodeadas de doce pilares llamados sukanqas, dispuestos de tal manera que en cada mes uno de ellos señalaba por dónde salía el sol y por dónde se ponía. Servían para determinar las épocas de siembra o recolección y festividades señaladas.

Asimismo, como en otras culturas anteriores, las Pléyades representaban un papel muy importante para la civilización inca y las consideraron la madre de todas las estrellas. Los incas

organizaron su mapa astronómico en función del *Mayu* –Gran Río Celeste– (en realidad la Vía Láctea) y asociaron las estrellas del ecuador galáctico al construir sus constelaciones.

Cultura nazca

Entre los siglos I y VI se desarrolla en la costa sur del Perú, en la región Ica, concretamente en los valles de Nazca (también transcrito como Nasca) y Pisco, entre otros, la denominada cultura nazca. Además de sobresalir por su cerámica policromada, su arte textil o por los acueductos que traían el agua subterránea hasta la ciudad, son conocidos mundialmente por su desarrollo geométrico-astronómico, que se materializa en las denominadas Líneas de Nazca.

Se hallan en el desierto de Nazca y se trata de líneas técnicamente perfectas trazadas sobre la superficie de la tierra que van desde los simples trazados que alcanzan hasta los diez kilómetros de longitud, pasando por figuras triangulares y trapezoidales, hasta complejo dibujos que representan animales, seres humanos y plantas. El conjunto de dibujos cubre una superficie de unos cuatrocientos cincuenta kilómetros cuadrados. A este tipo de figuras se las denomina también *geoglifos*. Lo más curioso de estas líneas, además de su complejo trazado, es que en tierra pasan desapercibidas y sólo son visibles desde el aire, a una altura superior a los doscientos metros.

El Colibrí, uno de los grupos de líneas de Nazca. Hay más de treinta geoglifos en las llanuras de Nazca, y este del Colibrí mide sesenta y seis de ala a ala, pero existen otros mayores como el Pájaro Gigante, de casi trescientos metros; el Lagarto, de 188 metros; el Pelícano, de 137 metros; el Cóndor, de 135 metros; y el Mono, también de 135 metros.

La primera referencia a dichas figuras pertenece al conquistador español Pedro Cieza de León, en 1547, que las describe como señales en la tierra; posteriormente, en 1568, las autoridades españolas de la región llegaron a considerarlas carreteras. La primera investigación científica de las líneas se debe a Toribio Mejía Xesspe, en 1927. El antropólogo Paul Kosok, así como la matemática alemana María Reiche, que dedicó más de treinta años a su estudio, confieren a los dibujos un significado astronómico, además del puramente ritual que nunca se ha descartado, e incluso argumentaron que podía tratarse de un gigantesco calendario.

En todo caso, hasta la fecha sigue la enorme controversia sobre su significado, que va desde el religioso, pasando por el técnico de canalizaciones superficiales, hasta llegar al puramente especulativo que las relaciona con culturas de tipo extraterrestre.

Cultura anasazi

Los anasazi eran un conjunto de pueblos amerindios que ocupaban la superficie de los estados actuales estadounidenses de Colorado, Utah, Arizona y Nuevo México, y que desarrollaron su cultura entre los siglos VIII y XIV. Eran agricultores sedentarios, artesanos, alfareros, comerciantes y observadores del cosmos. Solían vivir en cuevas excavadas en las laderas de los montes y peñascos.

Este pueblo indígena, que practicaba el arte rupestre, registró los desplazamientos solares, un mapa del cielo y diversos acontecimientos estelares. Además de representaciones del movimiento del Sol, los solsticios y equinoccios, y calendarios, es particularmente conocida su representación de un fenómeno poco habitual en los cielos, la explosión de una supernova en el año 1054 en la constelación de Tauro. Esta catástrofe estelar también la reflejaron los astrónomos chinos, que relatan que fue cuatro veces más brillante que Venus y que resultó visible a simple vista en el cielo durante veintitrés días, incluso a plena luz. Sus restos forman hoy la denominada nebulosa del Cangrejo.

Petroglifo en un risco del parque nacional del Cañón del Chaco (Estados Unidos), que representa la supernova observada por los anasazi y que, según astrónomos chinos y árabes, fue visible desde el 4 de julio de 1054 durante 23 días y 653 noches.

2

La Tierra, centro del universo

Del oscurantismo que practicaban los antiguos chamanes y sacerdotes en sus ritos ancestrales de superstición, mezclado en algunas ocasiones con la luz de la observación cuidadosa y sistemática, surge una visión astronómica que va dejando atrás poco a poco, aunque nunca dejará de hacerlo en este período, sus orígenes astrológicos para comenzar a fundar las bases de una observación cosmológica del universo.

En estos tiempos, son los griegos los que insuflan un aire nuevo a la historia de la humanidad en todas sus acepciones, sociales, religiosas y científicas. Su cultura es la nuestra, y su visión del universo nos acompañará hasta nuestros días. Los romanos, herederos de esta cultura, sólo servirán como transmisores de ella sin aportar demasiados avances sustanciales.

Al otro lado del mar, son los árabes los que desarrollarán esta ciencia proporcionándole una visión nueva más cercana a las realidades celestes, mientras que Europa se hunde en el oscurantismo científico de la Edad Media. Precisamente será la cultura árabe la que le transmitirá los conocimientos necesarios que le llevará a cuestionarse el plan celestial original que suponía a la Tierra como centro del universo, alrededor de la cual todos los astros debían moverse y sustentarse, para que esta pase a ser un objeto más del complejo entramado que supone el conjunto de cuerpos celestes alojados en el vasto espacio universal.

La astronomía en la Grecia clásica

Podemos considerar que la influencia de la Grecia que llamamos clásica abarca el período comprendido entre los siglos VIII a. C. y II a. C., seis centurias que iluminaron la civilización occidental y de la que hoy en día somos herederos.

Los avances sociales y políticos, así como los filosóficos –que en aquélla época contenían conocimientos científicos de toda índole–, el desarrollo de las artes, la educación y la lengua, junto con los ritos religiosos, conforman el crisol donde se desarrolló la civilización griega de esa época.

Los primeros reflejos de lo que luego sería la astronomía griega los tenemos en las obras literarias de Homero y de Hesíodo, allá por el siglo VIII a. C. El primero, tanto en *La ilíada* como en *La odisea*, en las
siempre difíciles relaciones entre dioses, héroes y hombres, hace referencias a las constelaciones de Bootes, Orión, la Osa Mayor, a las Pléyades e incluso a la estrella Sirio, mientras que el segundo, en su obra Los trabajos y los días, describe un calendario agrícola marcado por la salida y puesta de varias constelaciones y estrellas.

Precisamente, el calendario griego más conocido –llamado *Ático*– fue una herencia del babilónico, era de tipo *lunisolar* y constaba de doce meses de veintinueve y treinta días, lo que daba al año una duración de 354 días, de manera que cada tres años debían añadir un mes para intentar encajar con los ciclos solares. Dado que estos ajustes no permitían enlazar completamente los ciclos lunares con los solares, las correcciones se fueron haciendo cada vez más complejas, llegando incluso a proponerse ciclos de ocho e incluso diecinueve años en los que se iban acoplando varios meses adicionales.

Los griegos presocráticos también tenían una visión del universo que variaba desde aquéllos que afirmaban que la Tierra era plana y rodeada por el *Okeano* –el mar universal–, hasta los que propugnaban que los planetas, el Sol, la Tierra y las estrellas giraban alrededor de un fuego central.

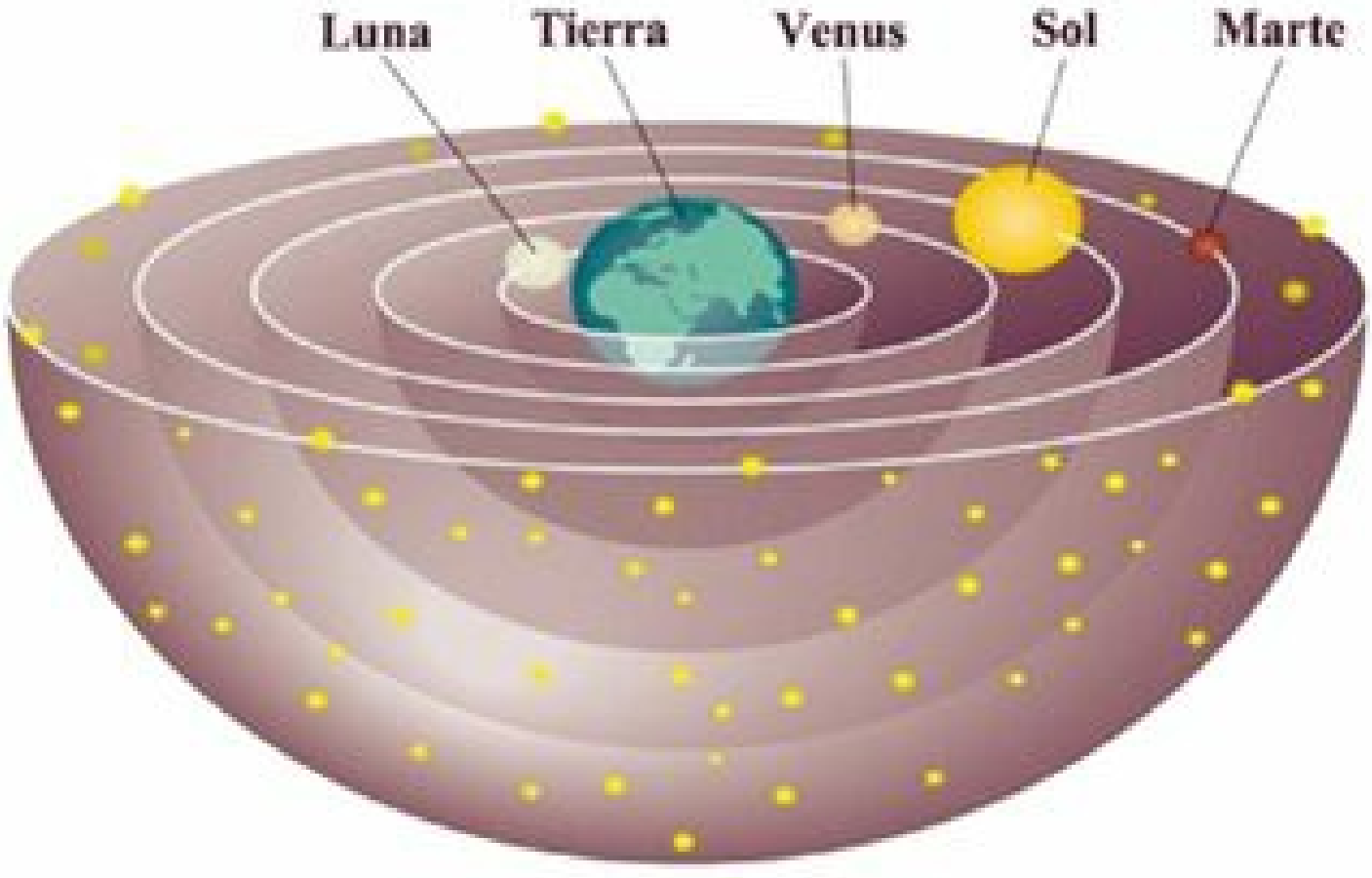
La visión del universo plano rodeado por el mar universal proviene del primer filósofo del que tenemos constancia, Tales de Mileto (630-546 a. C.), al que dentro del grupo de los Siete Sabios de Grecia era considerado el sabio astrónomo. Fue el primer hombre que dejó de lado la superstición que delegaba el orden del mundo en los dioses y sus poderes divinos, para sustituirlo por otro sujeto a leyes físicas y matemáticas. Según Herodoto, predijo el eclipse de sol de mayo del 585 a. C. También sus aportaciones como matemático fueron muy notables, se le considera el padre de la geometría.

Poco a poco estas afirmaciones un tanto ingenuas fueron arrinconándose con las aportaciones de filósofos astrónomos y matemáticos que dirigieron su inteligencia hacia la búsqueda de la razón de los sucesos que observaban en la naturaleza. Los estudios del movimiento errático planetario –*planeta* significaba 'vagabundo' en griego clásico– les permitieron comprender en gran manera la dinámica celeste. Contemplaron los desplazamientos periódicos de los planetas Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, además de los propios de la Luna y del Sol.

Como cabeza visible de estos observadores de los movimientos planetarios destaca el filósofo y matemático Pitágoras (582-507 a. C.), discípulo de Tales, que consideraba al universo como un conjunto ordenado de cuerpos celestes –el cosmos– que se situaban unos respecto de otros de una manera armónica que identificaba con los intervalos de la octava musical, teoría que se denominó Armonía de las Esferas y que ha tenido muchos seguidores hasta tiempos recientes. La escuela pitagórica es la responsable de la segunda concepción del universo que hemos mencionado antes.

Fue Eudoxo de Cnidos (390-337 a. C.), filósofo, astrónomo, matemático y médico, quien dio la primera explicación sistemática de los movimientos del Sol, la Luna y los planetas, proponiendo el modelo de las esferas celestes que suponía a la Tierra rodeada por un conjunto de veintisiete esferas celestes dispuestas en siete grupos en las que colocaba a todos los cuerpos astrales conocidos. En realidad fue el padre de la visión *geocentrista* del universo. Asimismo, fue el primer astrónomo griego que estableció que la duración del año contenía seis horas además de los 365 días.

El *geocentrismo* tomó carta de naturaleza cuando fue suscrito por uno de sus discípulos, Aristóteles (384-322 a. C.), el más insigne de los pensadores griegos –y el de más influencia en el pensamiento occidental– por sus aportaciones a la filosofía propiamente dicha (lógica, metafísica, ética…), así como a las matemáticas, la astronomía, la biología, la física, la política, etc., lo que conocemos a través de sus textos, ya que escribió al parecer más de doscientos tratados, aunque sólo hayan llegado a nuestros días treinta y uno de ellos. Su teoría era la de un cosmos esférico, del que la Tierra era el centro, que contenía los cuatro elementos primigenios –tierra, aire, fuego y agua– que formaban el denominado mundo sublunar, que a su vez estaba envuelto por un quinto elemento –denominado éter– que llenaba todo el universo, y constituía el mundo supralunar.



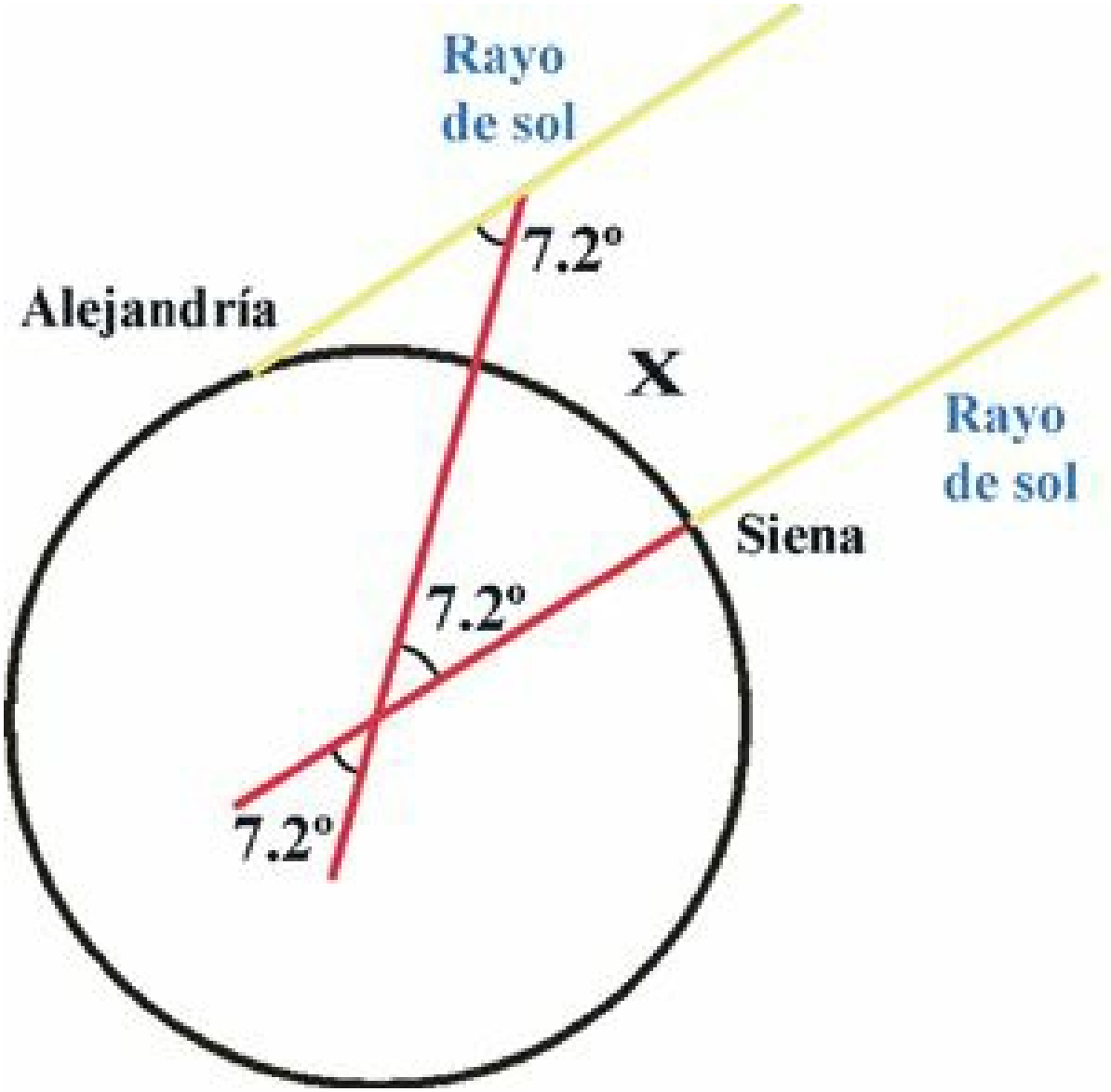
Visión geocentrista del universo en donde la Tierra tiene una posición central predominante y el resto de los astros giran en torno a ella en órbitas circulares dentro de la gran esfera del cosmos, con las estrellas fijas en el fondo.

Asimismo, Aristóteles concibe por primera vez la Tierra como un objeto esférico, porque sus observaciones de las estrellas le permiten distinguir que cambian su altura en el horizonte según la posición del observador en la Tierra, lo cual no sucedería de ser esta un objeto plano. Esta forma

también se percibía en los eclipses de Luna cuando la sombra de una línea curva se dibujaba en su superficie.

En todo caso, algunos filósofos griegos se percataron de que las concepciones geocentristas no eran lo suficientemente correctas porque no eran capaces de explicar el movimiento errático de los planetas. Los más observados, como Venus y, sobre todo, Marte, a veces se movían adelante y luego hacia atrás; este hecho chocaba de frente con la concepción aristotélica de que los movimientos de los objetos celestes eran círculos perfectos. Aristarco de Samos (310-230 a. C.) fue el primero en afirmar en el único escrito que ha sobrevivido hasta el presente, *De los tamaños y las distancias del Sol y de la Luna* –que curiosamente se basaba en una visión geocéntrica–, que la Tierra gira sobre sí misma cada veinticuatro horas, y al mismo tiempo, y junto con los otros planetas, alrededor del Sol. Expuso el primer modelo heliocéntrico, cuya autoría sólo conocemos a través de la cita de uno de los más importantes científicos griegos, Arquímedes de Siracusa (287-212 a. C.), que en su obra *El contador de arena*, explicita:

> El universo es el nombre dado por la mayoría de los astrónomos a la esfera cuyo centro es el centro de la Tierra. Pero Aristarco ha sacado un libro en donde se afirma que las estrellas fijas y el Sol permanecen inmóviles, y que la Tierra gira alrededor del Sol en la circunferencia de un círculo.



Eratóstenes calcula el tamaño del radio terrestre a partir de la sombra del objeto en Alejandría y la distancia que separa esta ciudad de Siena, en donde no existe sombra ese mismo día, mediante sencillas razones trigonométricas.

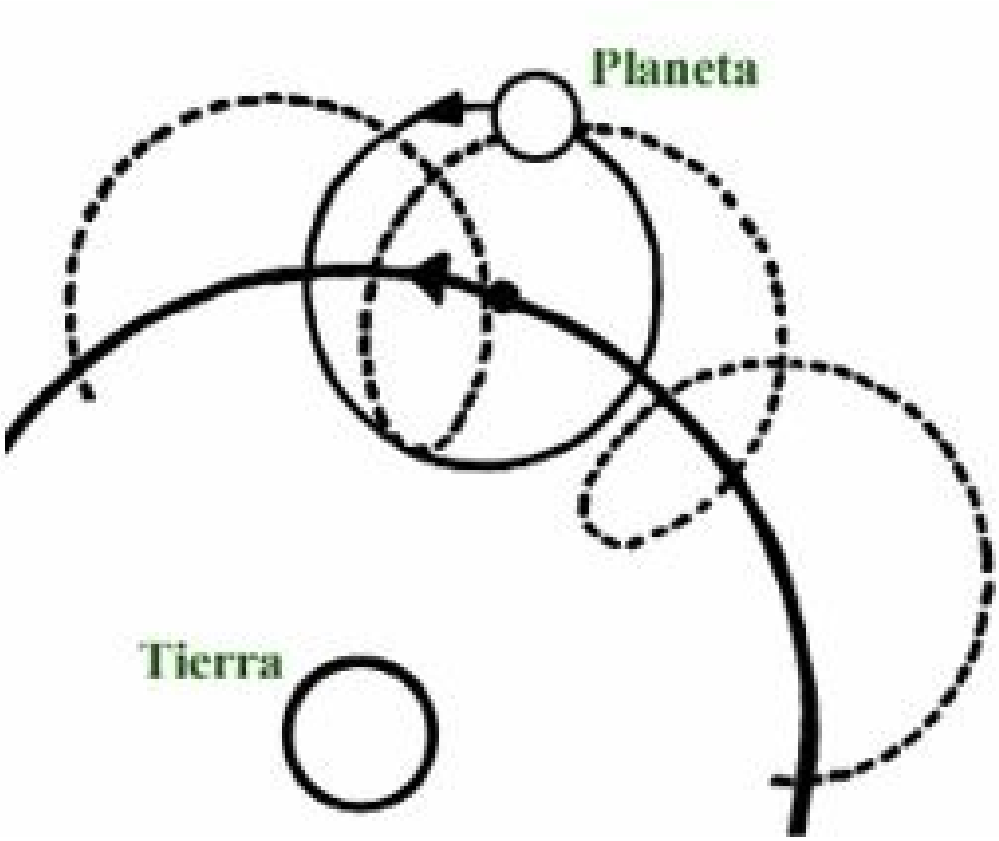
La hipótesis de una Tierra esférica fue corroborada por las experiencias de Eratóstenes de Cyrene (276-194 a. C.), matemático, astrónomo y geógrafo, quien aportó los primeros datos empíricos que apoyaban esta concepción. Sabía que en Siena (hoy Asuán), Egipto, el día del solsticio de verano, a mediodía, los objetos no proyectaban sombra alguna, pues recordaba haber observado que la luz se reflejaba completamente en el fondo de los pozos a esa hora; esto significaba que la ciudad estaba situada justamente en perpendicular al Sol en ese momento. Eratóstenes se percató de que eso no ocurría en Alejandría, lo cual sólo podría ser posible si la superficie terrestre fuese curva. Por ello, procedió a medir la sombra de un objeto en Alejandría el mismo día del solsticio de verano al mediodía, pues mediante sencillas relaciones de triángulos podía calcular el ángulo que separaba ambas ciudades. A partir de ahí contrató a un hombre para que midiera la distancia entre ambas ciudades, que resultó ser de unos 4.900 estadios (aproximadamente ochocientos kilómetros), ya que conocidos ambos valores es muy sencillo calcular el radio y la longitud de la circunferencia en que se encuentran. El resultado que obtuvo para el radio terrestre fue el equivalente a 6.366 km, cuando

hoy sabemos que dicho radio es de 6.371 km, prácticamente el valor obtenido por el griego. Las únicas herramientas de Eratóstenes fueron sus ojos, unos palos, los pies y el cerebro.

Alrededor del 255 a. C., Eratóstenes construyó la primera *esfera armilar* –en realidad una especie de astrolabio esférico–, cuyo nombre proviene del término latino *armilla* que significa 'círculos', y que es un objeto que representa la esfera celeste en el que se pueden mostrar los movimientos de las estrellas alrededor de la Tierra o del Sol. Este instrumento está construido sobre un esqueleto de círculos graduados que muestran el ecuador, la eclíptica, los meridianos y los paralelos.

Eratóstenes fue director de la Biblioteca de Alejandría, y le sucedió en el cargo Hiparco de Nicea (190-120 a. C.), astrónomo, matemático y geógrafo como su predecesor. Sus contribuciones a la astronomía son notables, suyo es un catálogo de estrellas que contenía mil ochenta de ellas, y cuya intensidad fue capaz de medir, datos con los que las clasificó en seis categorías que denominó *magnitudes*. Esta clasificación de magnitudes de estrellas, en líneas generales, ha llegado hasta nuestros días. Hiparco incluso anotó la aparición de una estrella nova, en el 134 antes de Cristo.

Dividió el día en las veinticuatro horas de la misma duración con las que hoy todavía medimos nuestro tiempo, pues hasta ese momento dicha consideración variaba con las estaciones. Midió con bastante precisión la distancia Tierra-Luna a partir de eclipses lunares totales y fue el primero en fijar los conceptos de longitud y latitud de un lugar, lo que le permitió dividir la Tierra en meridianos y paralelos.



Explicación ptolemaica, mediante epiciclos, del giro de los planetas alrededor de la Tierra para conseguir ajustar la observación astronómica a la teoría geocentrista.

El último de los grandes astrónomos griegos de la época clásica fue Claudio Ptolomeo (100-170), asimismo alquimista, matemático y geógrafo. A pesar de ser uno de los grandes pensadores y

científicos griegos fue, paradójicamente, el responsable del gran atraso de quince siglos que sufrió el desarrollo de la astronomía, pues su tratado de trece tomos *Mathēmatikē Syntaxis,* al que los árabes renombraron como *Al Magisté* –'La Mayor'–, del que derivó el nombre más comúnmente conocido de *Almagesto,* en el que defendía la teoría geocentrista de Aristóteles, se convirtió en la obra de referencia del mundo Occidental. Consideraba que la Tierra era el centro del universo, y que el Sol, la Luna y los planetas giraban alrededor de ella describiendo, a su vez, pequeñas circunferencias, que llamó *epiciclos*, cuyo centro giraba también alrededor de la Tierra, pues era la única manera de explicar los movimientos erráticos de los objetos celestes. Esta teoría aunque parte de un supuesto falso al considerar a la Tierra como centro del universo, es coherente con sus cálculos matemáticos del movimiento planetario.

En todo caso, en este tratado se recogen también detallados estudios sobre los eclipses y su predicción, la periodicidad de los equinoccios y la longitud del año, los tamaños del Sol y de la Luna, e incluso un catálogo de estrellas australes.

Se cree que este sabio fue también responsable indirecto del viaje de Colón hacia las Indias Occidentales pues en su libro *Geographia* adoptó la estimación hecha por Posidonio (135-55 a. C.) del tamaño de la Tierra, bastante inferior al valor calculado por Eratóstenes –muy cercano al real, como ya hemos explicado–, y exageró la extensión del continente euroasiático, lo que llevó al navegante, bajo pabellón castellano, a pensar que el nuevo continente estaba más cerca de lo que sucedía en realidad y le alentó a emprender su viaje del descubrimiento.

Ptolomeo también es autor del compendio astrológico más importante de la antigüedad, el *Tetrabiblos*, en el que recoge todo el saber astrológico de su tiempo, lo organiza y lo sistematiza. La obra consta de cuatro libros, los dos primeros los dedica a la denominada geografía astrológica, y en ellos introduce el Horóscopo con los doce signos del Zodiaco que son los que conocemos actualmente. Los dos últimos libros intentan explicar cómo los astros son capaces de influir en el ser humano y en su destino, que puede predecirse según la posición que estos ocupen en el firmamento en el momento de su nacimiento. Este libro fue la referencia astrológica más importante y hoy, a pesar de tratarse de una práctica obviamente sin ningún rigor científico, la astrología y los horóscopos siguen ocupando una parte muy importante de las creencias místicas de la sociedad.

Roma y el calendario

Las aportaciones romanas a la ciencia en general fueron escasas, y como consecuencia las necesarias para el desarrollo astronómico todavía menores. La República y el Imperio romanos, que extendieron su poder en el mundo durante diez siglos, no destacaron por sus avances científicos –excepto en medicina–, y en líneas generales se dedicaron a mantener los conocimientos heredados del mundo heleno, que en astronomía incluía la visión geocentrista, la existencia de los planetas visibles a simple vista y de nuestro satélite natural, así como otros conocimientos de los pueblos a los que sometían, egipcios y mesopotámicos, principalmente.

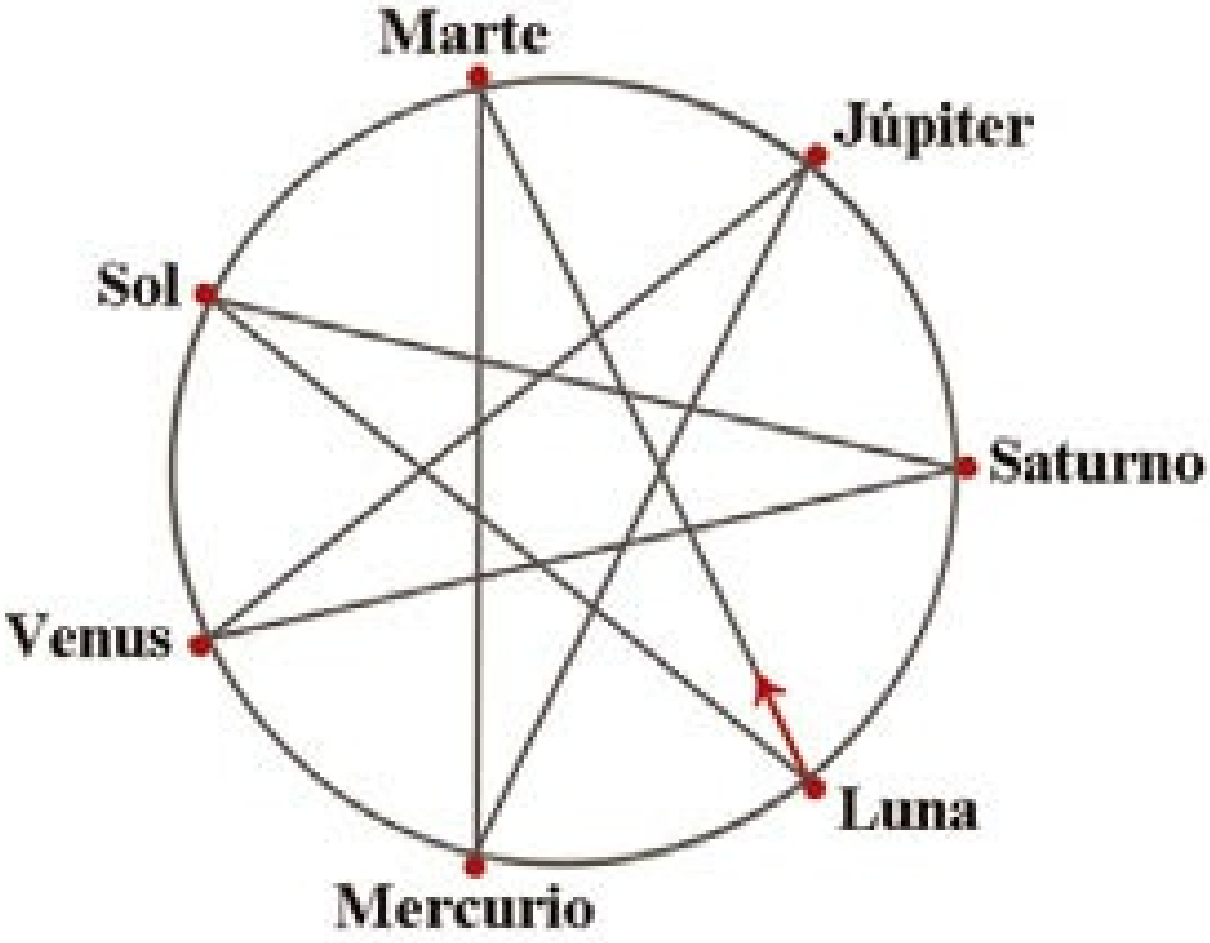
En realidad, los romanos buscaban ante todo la aplicación práctica de los conocimientos existentes. De ahí que en el campo astronómico la única utilidad que encontraron fue la de conseguir un buen calendario. Los primitivos calendarios romanos fijaban la duración del año que correspondía a diez meses (seis meses de treinta días y cuatro de treinta y uno) lo que daba al año una duración de trescientos cuatro días, lo que periódicamente obligaba a hacer reajustes. El primer día del año era el plenilunio tras el equinoccio de primavera, y el primer mes era artius, dedicado a Marte, dios de la guerra. Los meses siguientes eran Aprilis, mes de las flores, y Maius, mes de la ninfa Maia; Junius dedicado a la diosa de las cosechas, Juno, al que seguían Quintilis, Sextilis, September, October, November *y* December. Estos últimos nombres derivan, como es fácil de deducir, de su posición respecto del primero de los meses.

Los etruscos introdujeron dos meses más, Januarius, en honor al dios Jano, y Februarius, mes dedicado a la diosa Februa, la madre de Marte, y también a Februus, el antecesor etrusco de Plutón, dios de los infiernos, pero redujeron el número de días de cada mes. Así, el año tenía 355 días, con lo que se adaptaba al ciclo lunar. Posteriormente fueron introduciéndose muchas más variantes que transformaron el calendario en algo muy complicado.

De hecho, los romanos no dividían el día en veinticuatro partes iguales, sino que repartían el día en doce horas, y la noche en cuatro partes, lo que provocaba horas más largas en verano que en invierno. Para medir las horas utilizaban los relojes de sol y también, aunque más raramente, los de agua –clepsidras–. Se nombraban con números ordinales: *hora prima* –la primera al amanecer–, *hora secunda*, etc. Las cuatro partes de la noche, que tenían, lógicamente, diferente duración según la época del año, se denominaban *vigilia*: *prima vigilia, secunda vigilia*, etcétera.

Con el fin de conseguir un calendario uniforme, pues la diferencia entre el calendario civil y el astronómico ya era de casi noventa días, lo que conducía a que las fiestas florales primaverales se celebraban en pleno verano, Julio César, en el 45 a. C., ordenó al astrónomo alejandrino Sosígenes que lo elaborara. Este decidió desvincularse del calendario lunar y preparó otro basado en el ciclo solar propio del calendario egipcio. Consideró el año de 365 días y seis horas, por lo que en el calendario juliano –pues así pasó a llamarse– cada cuatro años se debía añadir un día, y el mes que lo adoptaba, febrero, se denominó bisiesto. Para corregir los desfases del calendario anterior, únicamente en el primer año se contaron 445 días, en vez de los 365 normales, de forma que al año 46 a. C. se le bautizó como el año de la confusión.

Tras la muerte de Julio César, el senado romano decidió llamar Julius al mes Quintilis, en su honor. Más tarde, en el año 8 a. C., Octavio Augusto le puso su nombre, Augustus, al mes Sextilis. Este calendario se mantuvo vigente en Occidente hasta 1582, cuando fue reformado por el papa Gregorio XIII.



Orden romano de los días de la semana sobre una estrella de siete puntas –heptagrama– empezando por el Dies Solis –domingo–, siguiendo por Lunae –lunes–, y continuando por las puntas de la estrella, Martis –martes–, Mercurii –miércoles–, Jovis –jueves–, Veneris –viernes– y Saturni –sábado–. Los cristianos, según lo indicado por san Pablo, pasaron a denominar Dominus –Día del Señor– al domingo, identificando a Jesús como el nuevo Sol.

Oriente entra en escena

Con la caída del Imperio romano comienza la Edad Media, en la que diferentes pueblos van a ser nuevos protagonistas y tomar el relevo del transcurrir de la historia.

Las aportaciones más sustanciales a la ciencia, y en particular a la astronomía, van a estar relacionadas con la cultura musulmana, que empieza a desarrollarse en el siglo VII, para cobrar trascendencia en el IX, y cuya influencia se extenderá hasta el siglo XV. La expansión islámica por el sur de Europa, Asia Central y el norte de África contribuyó a aculturar a los pueblos que habitaban estas regiones y que se habían sumido en la oscuridad de los conocimientos por el desmoronamiento de su sociedad.

Debemos entender por ciencia árabe la desarrollada en esa lengua, ya corresponda a pueblos árabes, turcos, persas, etc. La lengua árabe envolvía y asimilaba la investigación científica de la franja mediterránea. El progreso de su ciencia fue posible por la adquisición de los conocimientos

originados en los territorios conquistados por el islam, principalmente la herencia grecolatina del Imperio bizantino, el saber científico persa y la astronomía hindú.

Los árabes comenzaron traduciendo a su lengua los conocimientos astronómicos hindúes, principalmente las obras de Brahmagupta (598-668), matemático y astrónomo. El califa abasida Al-Mansur (712-775), que fundó Bagdad, encargó la traducción al árabe del *Brahmasphutasiddhanta*. En este libro se explican los métodos matemáticos que permitían a los hindúes calcular la evolución de las posiciones de los objetos celestes en el tiempo, así como la aparición de los eclipses solares y lunares.

Posteriormente, descubrieron los tratados astronómicos griegos de los que se sirvieron para ir profundizando en sus conocimientos. Precisamente, como hemos comentado antes, la traducción al árabe de la obra cumbre de Ptolomeo se realizó entre los años 826 y 827, fue patrocinada por el califa Al-Ma'mun (786-833) y se le dio por título *Al-Majisti*, *–El más grande–,* de donde derivó su nombre definitivo. Fue el afamado traductor Gerardo de Cremona (1114-1187) quien, en 1175, realizó la traducción al latín y lo denominó *Almagesto*, que es el nombre por el que hoy conocemos dicho tratado. En época de Al-Ma'mun se realizaron las traducciones de la mayoría de los textos científicos occidentales, lo que permitió el desarrollo de la investigación científica en el mundo islámico. El mayor centro cultural de Bagdad, la denominada «Casa de la Sabiduría», canalizaba todas estas actividades, pues integraba a su vez un centro de traducciones, una biblioteca y una academia de investigación.

El texto árabe *Tratado del año solar*, que se escribió en una fecha no conocida entre el 830 y el 850, parte de la concepción geocentrista tolemaica para intentar calcular la duración del año solar, pues los astrónomos árabes de los observatorios de Bagdad y Damasco, los primeros en construirse en el mundo –entre el 822 y el 829–, encontraron grandes desfases en las posiciones solares advertidas al realizar los cálculos a partir de los esquemas propuestos por Ptolomeo. Por ello, llevaron a cabo sus propios cálculos, que escribieron en las tablas contenidas en este tratado. Fue la primera crítica de la que se tiene constancia al sistema planetario descrito en su obra.

El desarrollo de las matemáticas ayudó a avanzar a la astronomía y permitió aplicarla en cuestiones sociales prácticas importantes, como el cálculo de la latitud y la longitud de los lugares, la orientación terrestre y marítima, los horarios y, especialmente, el calendario.

El calendario oficial del mundo árabe es el lunar, con doce meses, algunos de veintinueve y otros de treinta días. El ciclo de treinta años en el que se añadía un día más a once de ellos permitía construir un apropiado calendario oficial. El mayor problema que presentaba era el del cambio de día y de mes, pues la ley religiosa indica que el primero sucede a la puesta de sol, mientras que el segundo se producía con la visión de la primera franja de luna creciente en el horizonte justo antes de la puesta de Sol. Como es fácil de imaginar, la posición en la superficie terrestre hace que estos eventos sucedan en tiempos diferentes, y por tanto, su previsión mediante cálculos matemáticos era muy complicada. Aun así, la determinación por lograrla contribuyó enormemente a desarrollar las técnicas matemáticas y de observación celestes.

Uno de los primeros astrónomos árabes de los que se tiene referencia fue Al-Farghani (805-880), nacido en territorio persa, que midió el diámetro terrestre y escribió en el año 833, la obra *Compendio de astronomía*, también conocido como *Jawami*, en la que describía el movimiento de los objetos celestes mejorando las tablas tolemaicas. Traducida al latín por Juan de Sevilla y posteriormente en otra edición por Juan de Cremona, algunos la consideran como la inspiración para el mundo dantesco de la *Divina comedia*. Este sabio fue autor de otras obras sobre relojes solares y astrolabios.

Uno de los más importantes científicos de la época fue Thabit ibn Qurrá (836-901), que destacó por sus aportaciones en matemáticas y astronomía e incluso como traductor de obras griegas. Estableció la duración del año sidéreo en 365 días, seis horas, nueve minutos y doce segundos (lo que suponía sólo dos segundos de error con el valor real), con lo que pudo calcular la precesión de los equinoccios, pero al no atreverse a dar un valor constante a este evento, pues sus datos estaban en contradicción con los del maestro Ptolomeo, propuso lo que denominó teoría de la Trepidación, en la que sugería valores diferentes para dicha precesión, lo cual como sabemos desde el Renacimiento, no es cierto.

Un importante catálogo de estrellas, 489 de ellas, creado a través de la utilización de métodos trigonométricos, se debe al matemático y astrónomo Al-Battani, también conocido como Albategnius (858-929), nacido en la región mesopotámica, que también calculó con gran precisión el año solar, la inclinación de la eclíptica y la existencia de eclipses solares anulares.

Quizá el mayor astrónomo musulmán en aquellos tiempos fue el persa Abd Al-Rahman Al Sufi (903-986), conocido en Occidente como Azophi. Su obra más importante data del año 964 y se titula *El libro de las estrellas fijas,* en la que catalogó 1.048 de ellas, identificó sus posiciones, magnitud aparente, brillo y color, y las asoció a sus correspondientes constelaciones. Asimismo, describió con detalle las cuarenta y ocho constelaciones tolemaicas, les dio nombre árabe e incluso incorporó algunos grupos estelares sólo visibles desde países incorporados al islam. También observó que el plano de la eclíptica está inclinado respecto al ecuador celeste.

Omar Jayam (1040-1131) fue un eminente matemático que utilizó sus descubrimientos en este campo para desarrollar los cálculos de los movimientos de los objetos celestes. Es responsable de la primera observación sistemática que se realizaba en un observatorio. Este fue construido hacia el 1074 en la región de Isfahan, al sur de la actual Teherán, durante el reinado de Malik (1072-1092), y su programa se preparó para durar treinta años –tiempo que coincide con el período de revolución del planeta Saturno– aunque fue cancelado a los dieciocho años, a la muerte de su benefactor. Allí se tiene constancia por primera vez de la utilización los denominados *tubos de observación*, que, tal y como comenta Al-Battani, estaban provistos de lentes y permitían focalizar la visión sobre un lugar determinado del firmamento: se trataba de primitivos telescopios. Como resultado de sus observaciones, preparó la compilación conocida como Tablas astronómicas para Malik Shah (Ziy Malik Sahi), de la cual sólo se conserva un catálogo de las cien estrellas más brillantes del firmamento y, en la actualidad, se encuentra depositado en la Biblioteca Nacional de París. También es importante su obra *El Libro del año nuevo* (Nawruz-nama), escrita en persa, donde recopiló todas sus teorías acerca del calendario solar persa, y que empleó para preparar un nuevo calendario que se llamó *Yalalí* –inaugurado en 1079 y utilizado hoy todavía– cuyo cálculo de la duración del año era

realmente espectacular, ya que su error era menor que el del calendario gregoriano establecido cinco siglos después.

Impresionante sextante de tipo mural de un tamaño de 40,4 metros perteneciente al antiguo observatorio en Samarkanda, obra del astrónomo Ulugh Beg, que fue destruido en 1449 y cuyos restos, desenterrados en 1908, fueron transformados en un museo inaugurado en 1964 por las entonces autoridades soviéticas.

Otro de los sabios importantes de la época fue Nasir al-Din al-Tusi (1201-1274), nacido en Tus, antigua Persia, que destacó como matemático, astrónomo, médico, teólogo y filósofo. Elaboró tablas muy precisas sobre los movimientos planetarios y jugó un papel clave en la fundación del Observatorio de Maragheh, en el actual Azerbaiyán. Este observatorio, financiado por Hulagu Khan (1217-1265), gobernador mongol del Ilkanato persa y nieto de Gengis Khan, fue construido entre 1259 y 1263, constituyó uno de los centros clave de vigilancia celeste y marcó un punto de inflexión en los conocimientos astronómicos de la cultura árabe. También se emplearon aquí «tubos de observación» mejorados. Los científicos de la estación diseñaron, asimismo, un círculo azimutal provisto de dos cuadrantes, que permitía tomar simultáneamente la altura de dos astros sobre el horizonte.

En este observatorio se perfeccionaron los cálculos de movimientos de Ptolomeo que se ajustaban mejor a las observaciones y se plasmaron en las denominadas tablas iljanianas, que aunque mantenían la teoría geocéntrica parece ser que permitieron a Copérnico emplearlos para, cambiando la posición del centro del movimiento, crear la representación heliocentrista. Todas sus conclusiones se recogen en su libro *Memoria de astronomía*.

El relevo de este observatorio lo tomó el muy famoso de Samarkanda, que recibe el nombre de la persona que lo mandó construir en 1429, Ulugh Beg (1393-1449). Este astrónomo y matemático,

nieto del famoso conquistador mongol Tamerlán, fue regente de esa ciudad hasta que murió asesinado. En el observatorio instaló sextantes de gran tamaño que permitieron medir la posición de hasta mil dieciocho estrellas con gran precisión, que incluyó en un catálogo que superó las observaciones incluidas en el *Almagesto*, y que publicó en 1437 con el nombre de *Zij-i Djadid Sultani*.

En realidad, los árabes, con sus estudios y observaciones, preparan la revolución astronómica renacentista, pues son conscientes de que los errores que contienen las tablas tolemaicas que intentaban mediante modelos incorrectos acoplar la naturaleza a su teoría deben subsanarse.

Introducen mejoras en el campo de la observación celeste y así consiguen tablas que explican mejor el movimiento de los astros, pero de validez limitada, pues debían recalcularse aproximadamente cada cuarenta años, ya que su modelo era inconsistente con los movimientos reales de los cuerpos celestes. Esa situación contraria a la lógica fue la que poco a poco fue empujando el modelo geocentrista al abismo del olvido para dejar paso a un nuevo modelo inmutable, previsible con el paso del tiempo y que se acoplaba a las leyes naturales.

Las tinieblas científicas de la Edad Media

Y mientras tanto ¿qué ocurría en Occidente?

Uno de los asuntos más importantes en Occidente vinculado con la astronomía era el relacionado con el calendario, y más concretamente con las denominadas festividades móviles religiosas que cada año ocurrían en fechas diferentes. La ubicación más importante era la de la Pascua cristiana o Pascua de Resurrección. Decidir cuándo había que colocarla había sido una dificultad constante para la Iglesia de Roma y para la alejandrina. La Pascua judía se celebraba el día 15 del mes de Nisan, que estaba a caballo de los meses de marzo y abril del calendario juliano; por ello, los cristianos judíos de Oriente celebraban la Resurrección del Señor dos días después, el 17. Con el tiempo, los cristianos buscaban desvincularse totalmente de las tradiciones hebreas y por ello decidieron celebrar su Pascua de manera independiente. Fue Dionisio el Exiguo (470-544), monje erudito y matemático, quien se encargó en el 525 de concretar cómo debía ubicarse la fecha. El primer domingo después de la primera luna llena tras el equinoccio de primavera, que se fijó para el 21 de marzo –evitando así el enojoso problema del cambio de fecha por la precesión de los equinoccios–, sería la Pascua, con la salvedad de que si el plenilunio era en domingo, la Pascua se trasladaría al domingo siguiente.

El resto son tinieblas y sólo la influencia árabe consigue transmitir a través de la península ibérica sus conocimientos y descubrimientos al resto de Occidente. En realidad, es a través de al-Ándalus como se va a difundir su sabiduría, mediante la reconquista cristiana de los territorios ocupados por los musulmanes. Los puntos clave del conocimiento astronómico andalusí son Córdoba, Toledo, Sevilla y Zaragoza.

En Córdoba, en el siglo X, bajo el poder de Abderramán III (891-961) y posteriormente de su hijo Alhaken II (915-976), musulmanes, cristianos y judíos colaboran en las obras de traducción y

recopilación, florecen las ciencias, e incluso los reyes cristianos se sirven de los conocimientos cordobeses entablando relaciones fluidas con el califato. En lo relativo a la astronomía, el principal referente es Abu-l-Quasim Maslama al-Mayriti (hacia 950-1007), que es el *madrileño* –de ahí su apodo al-Mayriti– más antiguo del que se tiene noticia, y que también destaca como gran matemático. Realiza observaciones detalladas del cielo cordobés y modifica, ajustándolas, las tablas astronómicas árabes de la época, además de traducir al árabe la obra de Ptolomeo, *Planisferio*.

Es durante el reinado de Al-Mamun (fallecido en el 1075) en Toledo cuando la ciudad alcanza su esplendor. Este rey, que toma bajo su protección al leonés Alfonso VI (1047-1109) durante su destierro, es responsable con esta acción de que tras la reconquista de la ciudad por el rey cristiano unos años después Toledo pueda seguir manteniendo el carácter andalusí e incorporar su cultura al reino de Castilla.

Con Al-Mamun se crea en Toledo la escuela de astronomía y matemáticas, y en ella el sabio más destacado es Al-Zarqali, también conocido como Azarquiel (1029-1087), nacido en Córdoba, que tenía gran destreza para el trabajo de los metales, cualidad que dirigió hacia la faceta astronómica diseñando y construyendo diversos aparatos ente los que destaca una variedad del astrolabio que denominó *azafea*. El astrolabio está diseñado para observaciones y cómputos desde una latitud específica, mientras que la azafea permite hacer estas observaciones en cualquier latitud terrestre, y por ello se le denominó *astrolabio universal*. Fue especialmente útil a los navegantes para orientarse desde posiciones variables. Azarquiel también dirige la confección de las Tablas astronómicas toledanas, que se publicaron en el año 1080, y que se calcularon para indicar las posiciones en el cielo de los cuerpos celestes y las fechas en las que tenían lugar determinados fenómenos cósmicos presentes y futuros. Incluso sirvieron para predecir eclipses solares. Estas tablas tuvieron gran trascendencia para los eruditos del estudio de los cielos durante varios siglos.

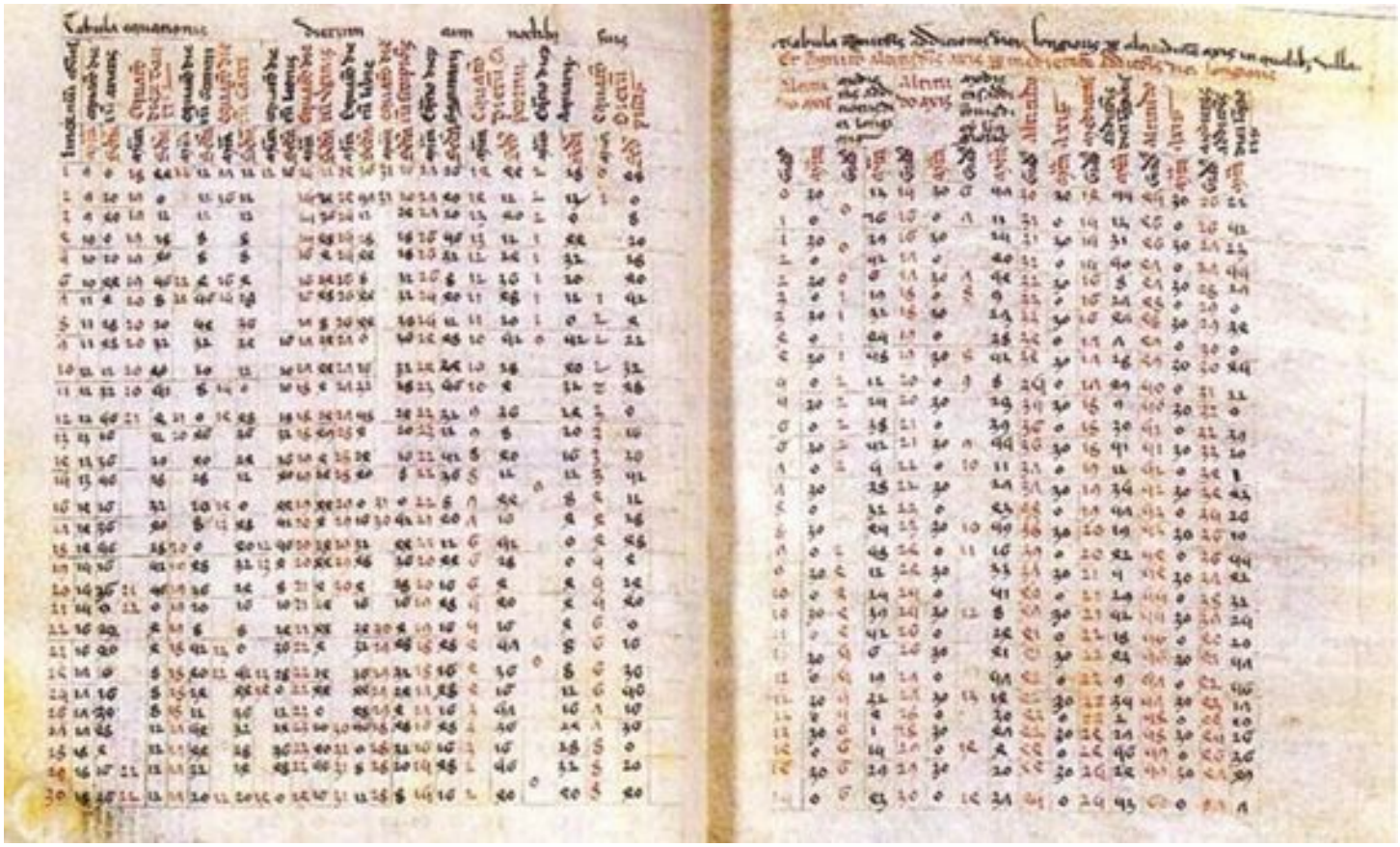
Imagen de una azafea, variedad de astrolabio diseñado por Azarquiel, que permitía observaciones de la posición de las estrellas en la bóveda celeste desde cualquier latitud terrestre.

Este mismo erudito fue el primero que decidió sacar los planetas menores de sus órbitas tradicionales para colocarlos alrededor del Sol, indicando que Mercurio poseía una órbita elíptica. Asimismo, uno de sus inventos más famosos fueron dos estanques construidos a orillas del Tajo, que, a modo de clepsidras, se llenaban coincidiendo con el plenilunio y se vaciaban con la Luna nueva, lo que le permitía fijar los días del mes. Precisamente Copérnico, en su libro *De revolutionibus orbium celestium (Sobre las revoluciones de las esferas celestes)*, expresa su agradecimiento a Al-Battani y a Azarquiel, y nombra sus trabajos en varias ocasiones.

El legado árabe en astronomía también incluye algunos términos que hoy en día siguen utilizándose como *cénit*, *nadir* y *acimut*.

En el año 1085, Alfonso VI reconquista Toledo y comienzan las traducciones de las obras ya vertidas del griego al árabe y las propias árabes, ambas al latín. Es esta riqueza de conocimientos la que con los años germinará en la famosa Escuela de Traductores de Toledo. Esta escuela fue fundada en el año 1130 por el arzobispo Raimundo (fallecido en 1152), monje cluniacense, y en ella se traduce una ingente cantidad de obras de aritmética, medicina, astronomía, astrología y filosofía. Como comentamos anteriormente, uno de sus traductores más destacados fue el italiano Gerardo de Cremona, que entre sus más de ochenta obras traducidas cuenta con el *Almagesto* de Ptolomeo.

El momento culminante de la occidentalización de la ciencia árabe ocurre durante el reinado del monarca castellano Alfonso X el Sabio (1221-1284). Bajo su gobierno, el punto de referencia cultural más importante de Europa está en la península ibérica. Apoya decididamente a la Escuela de Traductores de Toledo, donde se realizan las más fieles traducciones. Ordena elaborar las denominadas Tablas Alfonsíes, que compilan observaciones efectuadas en el firmamento de Toledo entre 1263 y 1272, en las que sus astrónomos recopilan y mejoran los datos los movimientos de los cuerpos celestes publicados por Azarquiel, del cual también traducen sus obras. Estas tablas contenían los datos más precisos de su tiempo y se extendieron rápidamente por Europa.



Las Tablas Alfonsíes, realizadas por encargo de Alfonso X el Sabio, contienen los datos de los movimientos de los cuerpos celestes tal y como se observaban en el cielo de Toledo entre los años 1263 y 1272.

El mismo Alfonso X se implica en dirigir la preparación de la enciclopedia denominada *Libros del saber de astronomía*, obra escrita alrededor de 1277 que reúne los conocimientos astronómicos de la época y contiene dieciséis tratados interrelacionados. El primero es un catálogo de las estrellas que indica la constelación en la que se encuentran. Los siguientes nueve tratados están dedicados a la construcción y el uso de diversos instrumentos de observación astronómica. Los últimos se ocupan de diversos tipos de relojes. Dado que la astronomía y la astrología se confundían muy a menudo en esta época, parece ser que el origen de la preparación de este tratado se encuentra en sus aplicaciones prácticas, pues a fin de preparar los horóscopos era necesario disponer de buenos instrumentos astronómicos.

Y mientras tanto, en el resto de Europa, la postergación de la ciencia era la tónica predominante, sólo algunos pensadores y sabios ilustres conseguían aportar algo de luz a este desdichado panorama. Esa luz provenía casi siempre de los mismos lugares, los monasterios y las órdenes religiosas que en

aquella época se convirtieron en los guardianes del conocimiento y los garantes de su transmisión a pesar de las «cadenas» que la religión tradicional ponía a cualquier avance que se apartase un ápice del canon establecido.

Entre esos célebres eruditos podemos incluir al monje franciscano de origen inglés Roger Bacon (1214-1294), que destacó como filósofo, aunque además se le reconoce por el estudio de las lenguas, la aplicación de las matemáticas y la defensa de la ciencia experimental, el empirismo. Con él fundamenta el método científico, que incluye observación, hipótesis, experimentación y verificación independiente. En astronomía sostenía que las estrellas tenían luz propia y que las llamadas fugaces eran cuerpos muy pequeños que al atravesar la atmósfera se inflaman por su propio movimiento. Consiguió tallar las primeras lentes y enunció los principios ópticos que con los años permitieron la creación del telescopio.

El imparable avance del pensamiento que propone nuevas formas de entender la naturaleza en contraposición con la concepción religiosa que anteponía los designios divinos para explicarla, anuncia la llegada del Renacimiento. De todo esto forman parte inseparable las reflexiones del filósofo que se considera puente entre el Medievo y el Renacimiento, Nicolás de Cusa (1401-1464), de origen alemán, el cual sobresalió además por sus conocimientos en astronomía, matemáticas y teología. De hecho fue nombrado cardenal y obispo de Bressanone (Tirol del Sur, hoy Italia) e incluso en 1459 llegó a ser camarlengo del Colegio Cardenalicio. Su filosofía envuelve sus razonamientos astronómicos, pues sin abandonar la idea de un Dios todopoderoso considera por primera vez la posibilidad de que el universo sea ilimitado, y por tanto sin centro definido –la Tierra pasa a ser un cuerpo celeste más–, todos los astros están en movimiento aunque este nos parezca imperceptible. Estas ideas aparecen reflejadas en su obra La *docta* ignorancia (1440), que es el origen de las modernas teorías cosmológicas y, como hemos comentado, advierte la aparición de la Edad Moderna.

Podríamos considerar al alemán Johann Müller Regiomontano (1436-1476) como el último de los astrónomos medievales. Fue un niño prodigio que a la edad de dieciséis años ya había concluido sus estudios universitarios de matemáticas y astronomía. Llegó a trabajar en 1468 como astrónomo real del rey Matías Corvino de Hungría. Realizó observaciones del planeta Marte, fabricó astrolabios y fundó un observatorio astronómico en Nuremberg, desde el cual describió el paso de un cometa en 1472, el mismo que Halley calculó que volvería a pasar por nuestros cielos en 1758, y que hoy lleva el nombre de este último. Creó su propia imprenta y publicó en ella uno de los primeros calendarios completos con datos astronómicos sobre las posiciones del Sol y de la Luna, así como de los eclipses y las fiestas móviles, convirtiéndose con ello en el primer impresor de literatura científica. Pretendía reformar del calendario en su obra *Kalendarium and De Reformatione Kalendarii*, por lo que fue llamado por el papa Sixto IV a Roma en 1475, en donde fue nombrado obispo de Ratisbona, aunque murió sin haber podido concluir dicha reforma, que tardó más de cien años en cristalizar, y que como ya hemos comentado ocurriría en 1582 con el papa Gregorio XIII.

Esta nueva manera de entender el Cosmos va acompañada del desarrollo de la física y la matemática, aunque la llegada de la peste negra de 1348, que se extiende con varios rebrotes casi hasta 1400, acabando con la vida de un tercio de la población del continente europeo –unos

veinticinco millones de personas–, retrasa la inevitable llegada del raciocinio moderno. Es el brusco final de una etapa que mantiene viva la esperanza por los últimos avances filosóficos y científicos que con el amanecer del siglo XV desechará por fin las tinieblas científicas de la Edad Media para dejar entrar la luz del humanismo, el arte y la ciencia de la Edad Moderna.

3

La revolución heliocéntrica

Y la luz del Renacimiento inundó el Orbe, encendió las artes y las ciencias y, como inmediata consecuencia, iluminó la astronomía.

Así comenzaba la denominada Edad Moderna, que terminaría a finales del siglo XVIII. Pero para que se produjera la renovación renacentista fue preciso que se conjugaran varios acontecimientos que estimularan a la sociedad de una manera impensable hasta entonces.

Podemos considerar la caída de Constantinopla como el primero de ellos. En 1453, los turcos otomanos, al mando de Mohamed II (1451-1481), tras un asedio de casi dos meses toman la ciudad. La caída del último resto del Imperio romano de Oriente era un hecho. Los restos de la cultura griega que aún se mantenían deben emigrar a Occidente y buscar refugio primero en Italia, y luego en el resto del continente. Los eruditos y los manuscritos conservados serán los vehículos para su transmisión.

El descubrimiento del continente americano en 1492 trajo además de las conocidas consecuencias políticas, sociales y culturales, otras de índole científico como fueron los avances geográficos, el desarrollo de la ingeniería y de las técnicas de navegación, así como nuevos impulsos en el campo de la observación del firmamento.

La reforma protestante emprendida por Martin Lutero (1483-1546) socava la autoridad eclesiástica, y con ello permite que la conciencia y las opiniones de cada persona determinen la gran variedad de pensamientos que emergen, y que traen con ellos nuevas ideas, nuevas especulaciones, que en ciencia permiten el avance del método científico. Este método, como hemos comentado en el capítulo anterior, separa la naturaleza y su concepción, de la condición divina; intentan explicar los hechos mediante la experimentación y la comprobación de las teorías, así se fundamentan los pilares sobre los que se sustenta el avance científico, entonces, ahora y siempre.

El humanismo, que también se deriva de esa concepción nueva de la naturaleza, empieza a ser protagonista de su propio destino, y la filosofía y el pensamiento se vuelcan en la educación de la persona y en rescatar las ideas de la Grecia clásica que lo consideraban base de su cultura.

Las ideas políticas también permiten la evolución de la sociedad, pues mientras Maquiavelo (1467-1527) muestra los mecanismos básicos del poder político, otros autores imaginan nuevas formas de organización social que surgirán a través de reformas dirigidas por sus integrantes y conducirán a nuevos modelos; *Utopía* (1516), de Tomás Moro, es un buen ejemplo de ello.

La invención de la imprenta hacia 1450 por Johannes Gutenberg contribuyó de manera imparable a la difusión de la cultura mediante la progresiva edición de los libros que surgen de ella y que cada vez llegarán a más gentes provocando una avalancha de pensamientos e ideas que se llevarán el medievo por delante.

Y como consecuencia de todo ello, surge el progresivo desarrollo de los descubrimientos científicos que trastocarán de manera irreversible todos los conceptos antiguos y que llevarán ineludiblemente al comienzo de una nueva ciencia cada vez más fructífera, cuyos hallazgos conducirán a otros sucesivos, renovando el saber y los conocimientos existentes.

Pero antes de entrar a describir cómo fueron desencadenándose estos hechos, es conveniente revisar un escenario que los propios cálculos astronómicos habían convertido en obsoleto: el calendario juliano. Este había sido adoptado por la Iglesia en el primer Concilio de Nicea celebrado el año 325, pero en el Concilio de Trento (1545-1563) se acordó su modificación. El motivo fue el desajuste que se había acumulado con el paso del tiempo, dado que el año juliano era de 365,25 días, como comentamos en el capítulo anterior, mientras que el año trópico es de 365,2422 días, es decir, comprende alrededor de once minutos menos. Esto había causado con los años un desfase de unos diez días, lo que provocaba que la festividad de la Pascua que debía celebrarse, como también decíamos, el primer domingo tras la primera luna llena después del equinoccio de primavera (en el hemisferio norte), ya no coincidiera con la pauta religiosa.

Por ello, en 1582 el papa Gregorio XIII instauró un nuevo calendario que es el actualmente utilizado y que designamos como calendario gregoriano. Este nuevo calendario tiene una serie de reglas que lo hacen muy preciso, consiguiendo años de 365,2425 días, a pesar de lo cual, y como es obvio, contiene un error de veintiséis segundos que tras el paso de tres mil trescientos años determinarán el ajuste de un día; eso sin contar el efecto derivado de los posibles cambios en la velocidades de traslación y rotación de la Tierra por las interacciones con la Luna. La Comisión del Calendario, ordenada por el papa, tuvo como cabezas visibles a los astrónomos Christopher Clavius, jesuita alemán, y al italiano Luigi Lilio, y se diseñó basándose en las Tablas Alfonsíes del siglo XIII, consideradas las más precisas de la época, con la ayuda del matemático español Pedro Chacón. Con el fin de recuperar el tiempo perdido con los desfases anuales, se determinó que al jueves 4 de octubre le sucedería el viernes 15 de octubre de 1582. La iniciativa de este calendario partía de la Iglesia, pero se asimiló como civil rápidamente y fue adoptado primero por los estados de orden católico para luego ir extendiéndose paulatinamente a los demás, aunque habría que resaltar como anecdótico que países tan importantes en el contexto mundial como Inglaterra (1752), Japón (1873), Rusia (1918) o Grecia (1923) tardaran tanto en asumirlo.

Ha llegado el momento de entrar en esta era moderna, crucial para la astronomía y la ciencia en general, época de grandes avances y de trascendentes aportaciones de insignes científicos que romperían, por fin, el yugo que la religión había impuesto al libre avance del conocimiento y de la razón.

El Sol, centro del universo: Copérnico

Como comentamos en el capítulo anterior, los árabes ya se han percatado de que las teorías tolemaicas y los cálculos derivados de ellas no son correctos, no pueden explicar con precisión el movimiento de los cuerpos, son inconsistentes al paso del tiempo, y lo que es todavía peor, no permiten, por tanto, hacer predicciones astrológicas válidas. Y no olvidemos que el fundamento, el empuje y el apoyo económico que reciben los estudiosos del firmamento lo es prácticamente por su contribución a los pronósticos sobre el futuro, los buenos y malos augurios. Sin ese matiz fundamental, el estudio astronómico no habría, por lo general, prosperado.

Pero la luz de la astronomía no podía estar oculta más tiempo, y su emancipación de la astrología surgió de la mano de un clérigo polaco de treinta y tres años, Mikołaj Kopernik, conocido por nosotros como Nicolás Copérnico (1473-1543). Decir clérigo es quedarse corto, pues Copérnico realizó estudios matemáticos, de física y de medicina, y además ejerció como gobernador, diplomático y economista, entre otras ocupaciones.

Nacido en Toruń, en una familia de comerciantes y funcionarios municipales, y recibió allí su educación elemental; fue su tío, el obispo Łukasz Watzenrode, que a la muerte de su padre se convirtió en su tutor, quien sufragó su formación en Humanidades en 1491 en la Universidad de Cracovia, y en Derecho Canónico y Medicina en 1496, en la de Bolonia, aunque no concluyó sus estudios. Prosigue su enseñanza en Roma y se doctora en astronomía en 1500. A su vuelta a Polonia, su tío sigue ocupándose de él y le consigue el puesto de canónigo –aunque nunca llegó a ordenarse sacerdote– en la diócesis de Frombork (voivodía –provincia– de Warmia y Masuria), en el norte de Polonia.

Aunque realiza diversos viajes para proseguir y completar sus estudios durante varios años, ya mostraba su interés por la astronomía cuando consigue en 1492 una copia de la segunda edición de las Tablas Alfonsíes impresa en Venecia, así como las Tablas astronómicas de Regiomontano publicadas en Augsburgo.

Su fascinación por la astronomía le lleva a acondicionar una de las torres de la ciudad como observatorio, y es allí donde pasa todo el tiempo que le dejan libre sus múltiples ocupaciones, estudiando el cielo polaco. Como fruto de estas observaciones combinadas con numerosos y diversos cálculos matemáticos, comienza en 1506 a escribir el libro, que con doble razón lleva ese nombre, *De revolutionibus orbium coelestium* (‘*Sobre las revoluciones de las esferas celestes*’), pues estaba llamado a *revolucionar* el panorama científico de la época. Lo terminaría en 1531, y se publicaría póstumamente en Núremberg, en 1543. En realidad la publicación del libro se debe en gran parte al

alemán Georg Joachim Rheticus (1514-1576), profesor de astronomía y matemáticas en la Universidad de Wittemberg, que pasó dos años como su pupilo en Frombork. En ese tiempo escribió un texto titulado *Primer informe sobre los Libros de las Revoluciones del sabio caballero y distinguido matemático, el reverendo doctor Nicolás Copérnico de Torun, canónigo de Warmia,* en donde cuenta sus experiencias al lado del maestro y resume la esencia de su teoría, y entre otras cosas escribe:

> Mi profesor siempre tenía ante sus ojos las observaciones de todas las épocas junto a las suyas, agrupadas en orden en forma de catálogos; después procede a partir de las observaciones más antiguas hasta las suyas propias, buscando la relación mutua que las armoniza todas; los resultados así obtenidos los compara con la hipótesis de Ptolomeo y los clásicos; y habiendo hecho un examen más cuidadoso de estas hipótesis, aplicando las matemáticas, establece geométricamente las conclusiones que pueden ser extraídas de ellas por una inferencia correcta; después armoniza las observaciones de los clásicos y las suyas propias con la hipótesis que ha adoptado; y tras realizar todas estas operaciones finalmente escribe las leyes de la astronomía.

La buena recepción del libro de Rethicus y su entusiasmo deciden a Copérnico a divulgar su obra, pero conocedor de los problemas que podía acarrearle su publicación y como devoto católico, dedica el tratado al papa Pablo III, fundamentándolo en que su modelo mejoraba la exactitud de las predicciones astronómicas, lo que permitiría preparar un calendario más exacto, lo que constituía una de las prioridades de la Iglesia en aquella época.

El libro constaba de seis volúmenes, los dos primeros de contenido teórico, donde exponía los principios de su teoría heliocéntrica junto con un compendio de estrellas que empleaba para apoyarla; el tercer y el cuarto volumen los dedicaba a estudiar e interpretar los movimientos del Sol y de la Luna, respectivamente, empleando los dos últimos en explicar completamente su modelo.

Este modelo comprende siete axiomas:

1. Los movimientos de los astros son eternos, definidos y circulares.
2. La Tierra no es el centro del universo. El centro del universo está cerca del Sol.
3. Los planetas giran en torno al Sol en órbitas circulares.
4. La distancia desde la Tierra al Sol es pequeñísima comparada con la distancia a las estrellas, que están fijas en el firmamento.
5. Es la rotación de la Tierra sobre sí misma la que explica la aparente rotación diaria de las estrellas.
6. Es la rotación que la Tierra realiza alrededor del Sol la que explica el aparente ciclo anual de movimientos de este.
7. El movimiento retrógrado aparente de los planetas está causado por el movimiento de la Tierra desde la que los observamos.

Las observaciones de Copérnico le permitieron componer un sistema en el que asignó un período heliocéntrico a cada planeta: el de Mercurio resultó ser de ochenta días; el de Venus, de siete meses; el de la Tierra, de un año, mientras que el de Marte resultaba ser de dos años, el de Júpiter alcanzaba

los doce y, por fin, el de Saturno llegaba a los treinta. Además, situó la Luna como satélite de la Tierra, lo que permitía una ordenación congruente con dichas observaciones.

Modelo heliocéntrico de Copérnico, en donde se observa el Sol situado en el centro, la Tierra y los otros cinco planetas conocidos entonces girando alrededor de él. También aparece la Luna, representada como satélite de nuestro planeta.

Este modelo, aun siendo revolucionario, contenía una serie de defectos en su concepción como, por ejemplo, que las órbitas de los objetos alrededor del Sol no son circulares tal y como pensaba Copérnico, ni las estrellas permanecen fijas en la bóveda celeste, ni se necesitan los epiciclos para explicar la excentricidad de las órbitas, entre otros.

En todo caso, su ruptura con el modelo clásico ptolemaico aceptado por la sociedad y defendido por la Iglesia fue la principal aportación de Copérnico a la revolución astronómica que estaba empezando. Las consecuencias para él no fueron mayores pues, como dijimos anteriormente, el libro salió a la luz a su fallecimiento, pero eso no le libró de ser atacado, y perseguida su obra.

Los astrónomos geocentristas le criticaban argumentando que si la Tierra se movía, ¿cómo es que no cambiaban de posición relativa el resto de las estrellas del firmamento? La Iglesia la incluiría en 1616 en su lista de libros prohibidos, pero fueron por lo general las autoridades protestantes quienes renegaron más vehementemente de sus tesis: Martín Lutero, en 1539 escribía lo siguiente:

> La gente le presta oídos a un astrólogo improvisado, que trata de demostrar en cualquier modo que no gira el cielo, sino la Tierra. Para ostentar inteligencia basta con inventar algo y darlo por cierto. Este Copérnico, en su locura, quiere desmontar todos los principios de la astronomía.

El teólogo alemán Philipp Melanchton desaprobó públicamente sus tesis, y el también teólogo, el francés Juan Calvino, reformador que dio nombre a la doctrina calvinista, llegó a referirse a Copérnico en estos términos:

> Veremos a algunos tan frenéticos, no sólo en la religión, sino para mostrar en todo lugar que tienen una naturaleza monstruosa, que dirán que el Sol no se mueve y que es la Tierra la que se mueve y gira. Cuando vemos personas así, hay que decir que el diablo las ha poseído y que Dios nos las ofrece como espejos, para que mantengamos el temor hacia Él. Eso es lo que ocurre con todos los que debaten con cierta malicia, y a los que no vale la pena enfrentarse… hay algunos fanáticos que quisieran haber cambiado el orden de la naturaleza, incluso haber deslumbrado los ojos de los hombres y haber embrutecido todos sus sentidos.

Pero no todo eran críticas, algunos como el astrónomo y filósofo italiano Giordano Bruno (1548-1600) no solamente hicieron suyas las ideas heliocentristas, sino que fueron más allá defendiendo la pluralidad de los mundos y sistemas solares, así como la infinitud del universo. Estas afirmaciones plasmadas en sus muchas obras escandalizaron a la comunidad cristiana de la época, por lo que Bruno fue perseguido por la Iglesia hasta ser capturado en 1593, encarcelado y finalmente juzgado y condenado por herético, impenitente, pertinaz y obstinado, a morir en la hoguera, lo que ocurrió en 1600 en Roma.

Aun así, la llama de la renovación astronómica había surgido y, junto con el torrente de las ideas renacentistas, se llevaría por delante las concepciones anticuadas y provocaría el resurgir de esta ciencia, que había estado *inmovilizada* desde el siglo II.

Los cálculos se hacen más precisos: Brahe y Kepler

Como hemos visto, el modelo copernicano sólo era una modificación del tolemaico, donde los planetas describían órbitas circulares a velocidades fijas, y la gran innovación consistía en el centro del círculo de su movimiento. Pero aun siendo un gran paso, no era suficiente.

El modelo de transición hacia los grandes avances posteriores lo proporcionaría el danés Tycho Brahe (1546-1601). Sus particularidades más importantes eran su gran capacidad de observación y su destreza para la creación de nuevos instrumentos astronómicos.

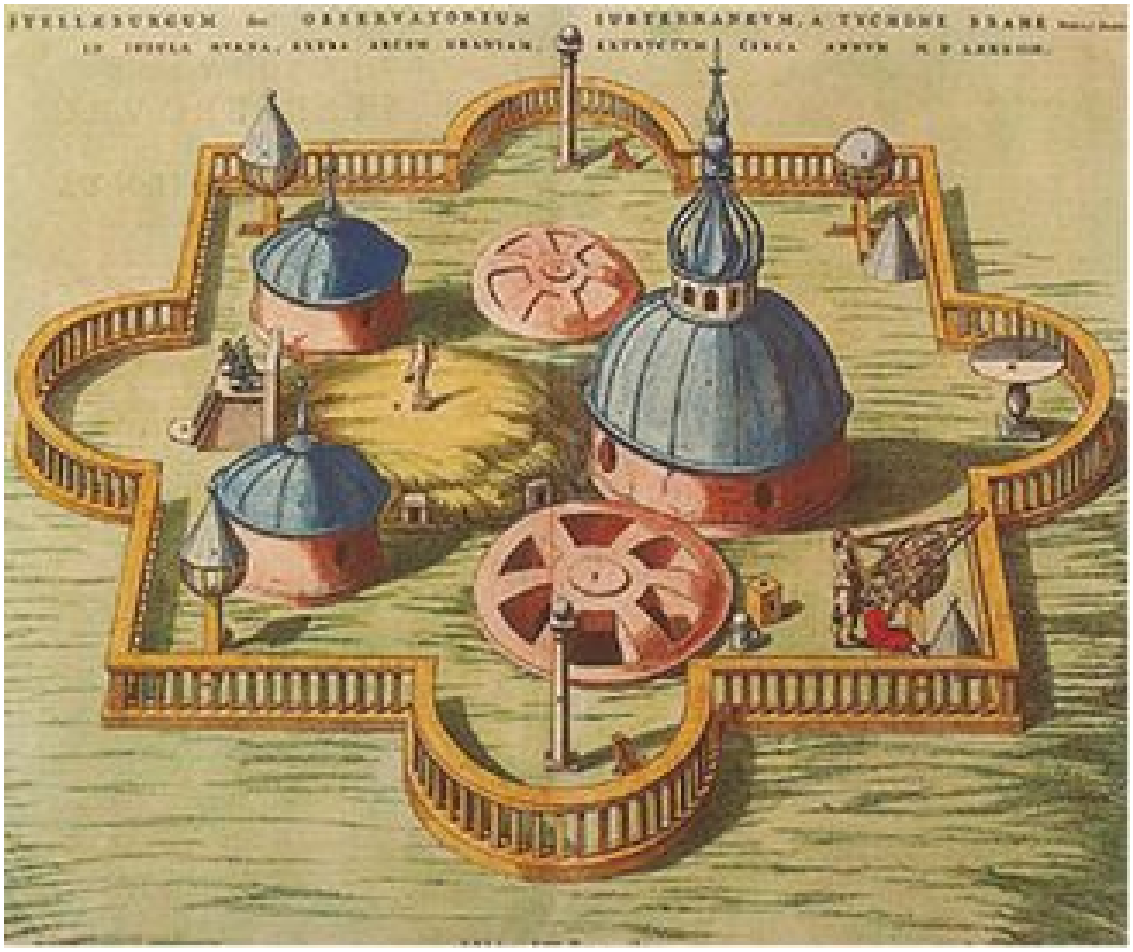
Tycho procedía de una familia acomodada y de la nobleza, aunque fue criado por su tío y padrino, que le envió a realizar estudios a las universidades de Copenhague y Leipzig. En la primera, a los catorce años, fue testigo de un eclipse parcial de Sol que le impresionó profundamente y le animó a leer tratados sobre astronomía. A los diecisiete años, otro suceso, la conjunción de Júpiter y Saturno, le llevó a percatarse de que las Tablas Alfonsíes, las vigentes en su época, que servían para predecir estos acontecimientos, estaban desfasadas casi un mes de las observaciones reales, lo que le condujo a la conclusión de que los modelos en los que se basaban debían ser erróneos y tendrían que modificarse.

Para ello era preciso observar las estrellas no sólo con detenimiento, sino con suma precisión, por lo que tuvo que mejorar los instrumentos existentes construyendo hasta un astrolabio de tres metros

de radio, cuadrantes que llegaron a medir dos metros de radio, diversos modelos de sextantes, esferas de tipo armilar e instrumentos para medir el paralaje de las estrellas. No sólo diseñó y fabricó instrumentos, sino que además los calibró y comprobó su exactitud periódicamente.

De hecho, los sucesos astronómicos parecían *perseguirle*, puesto que a los veintiséis años de edad, en 1572, observó una nueva estrella en el firmamento, que por entonces se consideraba inmutable sin que pudiesen aparecer nuevos astros. Lo que Tycho observó fue la explosión de una estrella, fenómeno que hoy conocemos como *supernova*, ubicada en la constelación de Cassiopeia, con un brillo similar a Júpiter y que permaneció visible durante casi dos años, lo que permitió al científico realizar numerosas observaciones de su evolución.

La investigación de esa supernova –que en aquella época Brahe denominó simplemente *nova*– le otorgaron tal fama que llegó a ser considerado el astrónomo más importante de su época, y no les faltaba razón. Por ello, el rey Federico II de Dinamarca le llamó en 1575 para dar varias conferencias sobre astrología y los orígenes de la astronomía en la Universidad de Copenhague, que le entusiasmaron y por las que se animó a financiarle la construcción, entre 1576 y 1580, de un observatorio astronómico en la isla Hven. El observatorio, bautizado como *Uraniborg* ('Castillo de Urania') en honor a Urania, musa de la astronomía, más bien parecía un palacio, pues asimismo contaba con talleres para construir sus complicados instrumentos, laboratorios donde practicaba la alquimia, una imprenta, además de jardines y dependencias fastuosas. Allí estudió el firmamento durante casi veinte años y preparó un catálogo de mil estrellas, 777 de ellas ubicadas con una precisión casi total, que iba grabando en una esfera de un metro y medio de diámetro con una minuciosidad incalculable para la época. También fue allí testigo del paso de un cometa en 1577, cuyas características y movimiento estudió con mucho detalle.



Diseño del complejo Uraniborg construido por el rey Federico II de Dinamarca en la isla Hven, que contenía un observatorio astronómico empleado por Tycho Brahe para el escrutinio del firmamento.

El sistema heliocéntrico de Copérnico no fue aceptado por Tycho, que a su vez propuso un modelo mixto ptolemaico-copernicano en el que la Tierra seguía fija en el centro del universo, con la Luna y el Sol girando a su alrededor, mientras que los planetas giraban en torno a este último. Muchos detractores de Copérnico compartieron el modelo de Tycho por no ser tan heterodoxo con la línea tradicional astronómica.

Cuando murió su benefactor, el nuevo rey danés no quiso seguir manteniendo los elevados gastos del estudio astronómico, y Brahe emigró a Praga, donde encontró un nuevo protector en la figura del emperador del Sacro Imperio Romano Germánico, Rodolfo II de Habsburgo (1552-1612), que le nombró matemático imperial en 1599.

Allí siguió con sus observaciones hasta que un suceso, al parecer poco trascendente, cortó la vida del mejor astrónomo de la época: fue invitado a cenar a casa de un noble amigo y, como se consideraba de mala educación ausentarse de la mesa durante la colación, *retuvo aguas* hasta tal punto que su vejiga se resintió fatalmente y no pudo soportarlo, de manera que enfermó tan funestamente de cistitis que tras pasar cinco días de grandes sufrimientos, expiró. En su agonía, Tycho repetía continuamente *Non frustra vixisse vidcor* ('Que no haya vivido en vano'); ante todo quería pasar a la posteridad, cosa que como sabemos consiguió. Su tumba se encuentra hoy en la iglesia de Nuestra Señora de Tyn, en Praga.

Y aquí la historia se enlaza para que tome el relevo del gran astrónomo Brahe otro que aún sería más famoso por sus contribuciones a esta ciencia, el alemán Johannes Kepler (1571-1630), que se convertiría primero en su discípulo, y a su muerte en heredero de sus datos y hallazgos astronómicos.

Kepler, que procedía de una buena familia venida a menos, destacó desde su juventud por su gran facilidad para el cálculo matemático. Contrariamente a lo ocurrido con Brahe, sus padres le animaron a aficionarse por la astronomía. De hecho, se dice que su madre le llevó a observar en un lugar preferente del campo el paso del cometa de 1577, y su padre le mostró el eclipse de Luna de enero de 1580.

A los trece años entró en el seminario protestante de Adelberg, y dos años más tarde, en el seminario superior de Maulbronn. En 1589 comenzó sus estudios superiores en la Universidad de Tubinga, cerca de Stuttgart. Allí estudió, además de Ética, Griego, Hebreo y Teología, Astronomía y Física. Aquí es donde contacta por vez primera con las teorías heliocéntricas copernicanas.

Tras sus estudios, se estableció como profesor de matemáticas en Graz (Austria), donde publicó predicciones astrológicas, pues todavía entonces la astronomía no conseguía separarse completamente de ellas.

Sus primeras ideas cosmológicas basadas en la *Armonía de las esferas celestes*, que comentamos en el capítulo anterior, las plasmó en 1596 en un libro titulado *Misterium cosmographicum* ('El misterio cósmico'), del que envió una copia a Tycho Brahe, que se interesó por los conocimientos del joven astrónomo y le invitó a su residencia en el castillo de Benatek, cerca de Praga, con la intención de que le ayudase a aplicar sus dotes para la geometría en sus cálculos estelares. En enero de 1600 Kepler llega a Praga, aunque ni siquiera es recibido por Tycho. que le trata con altanería y desdén cuando se encuentran, pasadas unas semanas. Es más, aunque Tycho le permite que trabaje estudiando el movimiento de Marte, no le cede casi ninguno de sus datos, lo que genera grandes tensiones entre discípulo y maestro y propicia que Kepler abandone el castillo y se marche a Praga hasta que el danés rectifica, va en su búsqueda y le cede todos sus datos sobre Marte. Y no sólo eso, sino que a la muerte de su maestro pasa a obtener el conjunto de sus escritos y estudios.

Trabajando con este material, Kepler, que sustituyó en el cargo de matemático imperial a Tycho, se da cuenta de que no es posible conjugar las observaciones con el modelo de la *armonía celestial*, y prueba otras figuras geométricas hasta dar con la elipse que, para su sorpresa, es capaz de describir a la perfección el movimiento planetario de Marte, lo cual supone que es extensible al resto de los planetas, como posteriormente comprueba.

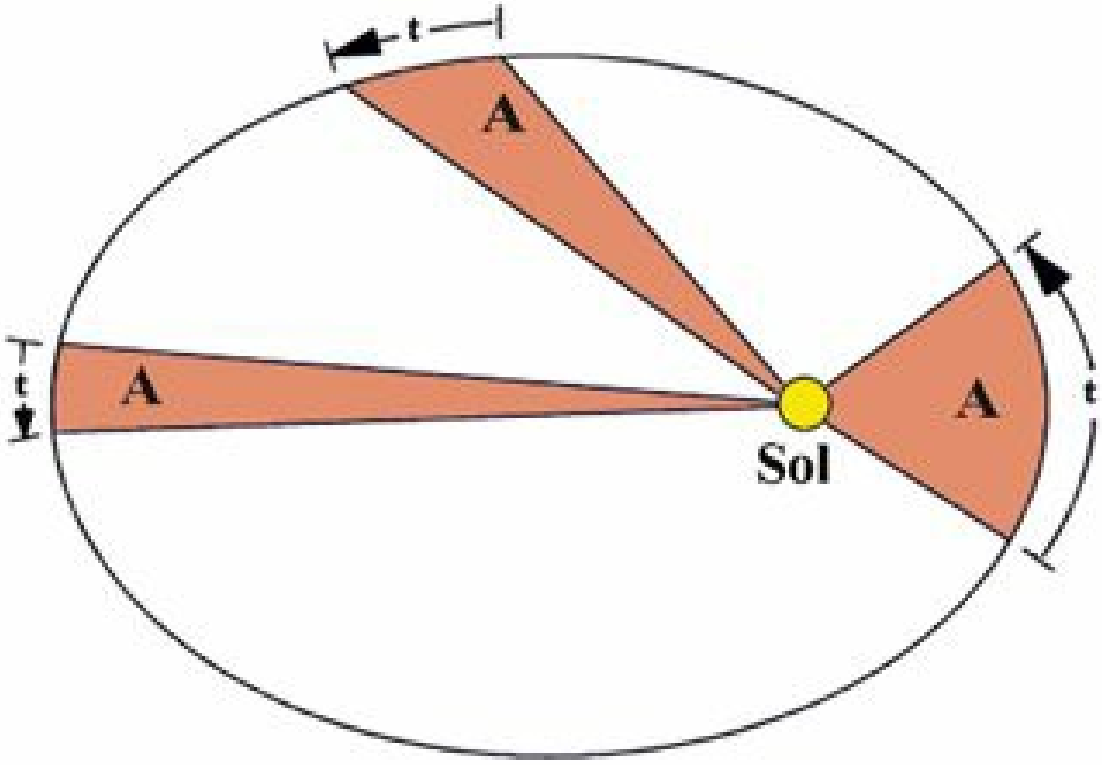


Gráfico que plasma las dos primeras leyes de Kepler, pues coloca al Sol en el foco de la elipse que cubren los planetas al girar en torno a él, al mismo tiempo que muestra que las áreas barridas por los planetas alrededor del astro rey, son iguales en tiempos iguales.

De aquí nace su gran obra *Astronomía nueva*, publicada en 1609, en donde incluye sus dos primeras leyes. En la primera ley, Kepler especifica: «Los planetas giran en órbitas elípticas alrededor del Sol, que se halla situado en uno de los dos focos de la elipse».

La consecuencia de esta ley es que hay un momento del año en que la Tierra se encuentra más cerca del Sol, el *perihelio* –ocurre sobre el 4 de enero–, y otro en el que se encuentra lo más alejada, el *afelio,* sobre el 3 de julio.

Una vez comprobado el movimiento planetario, pasa a estudiar sus velocidades, deduciendo de ellas su segunda ley: «Las áreas barridas por los planetas en su giro alrededor del Sol son proporcionales al tiempo empleado por ellos en recorrer su perímetro *de las mismas*», o, lo que es lo mismo: «La línea que une un planeta con el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales».

Las consecuencias de esta segunda ley son tremendas, puesto que plantean que la velocidad de cada planeta no es constante, como se suponía hasta entonces, en su trayectoria alrededor del Sol, sino que va variando, y aumenta cuanto más cerca está del Sol y disminuye a medida que se aleja durante su propio período orbital. Esto produce que la duración de las estaciones sea un poco diferente; por ejemplo, el verano en el hemisferio norte (la Tierra se mueve más despacio) dura un poco más que el verano en el hemisferio sur.

Tendrían que pasar diez años más hasta que en 1619 Kepler publicara *La armonía de los mundos,* donde enuncia su tercera ley: «El cuadrado del período orbital de cualquier planeta es directamente proporcional al cubo de su distancia media al Sol».

Matemáticamente se expresa con facilidad: $T^2 = k \cdot a^3$, siendo *T* el período orbital; *a* la distancia media al Sol y *k* un valor constante. La consecuencia obvia de esta tercera ley es que la velocidad media con que recorren las órbitas los planetas alrededor del Sol es tanto menor cuanto más alejados se encuentren de él.

Con estas tres leyes se podía predecir el movimiento planetario con suma perfección, así como comprender las observaciones que desde la Tierra se hacían de los astros.

Con todo ello, y dado que seguía trabajando en la corte imperial a pesar del fallecimiento del emperador Rodolfo II, para el que realizó cartas astrales y predicciones astrológicas a las que era muy aficionado el monarca, recopiló los datos resultantes de las meticulosas observaciones de los movimientos planetarios realizados por Tycho, junto con los suyos propios, para publicarlos en 1627 en las denominadas Tablas Rudolfinas –también denominadas Efemérides–, en honor al fallecido soberano. En ellas incluyó, además, un catálogo estelar con las posiciones de 1.006 estrellas.

Durante sus últimos años de vida, desde 1627, estuvo bajo el patrocinio del caudillo militar Albrecht von Wallenstein, en Silesia, preparándole su horóscopo. Se trasladó en 1630 a Ratisbona (Baviera), donde enfernó y falleció. A su muerte, se publicó su obra póstuma, *El sueño*, donde narra un viaje a la Luna, y que constituye la primera publicación de ciencia-ficción de la que se tiene constancia.

Tycho y Kepler fueron los últimos grandes observadores celestes de la era pretelescópica. Con Kepler, la astrología dejaba por fin de mantener cautiva a la astronomía, que se independizaba definitivamente como ciencia. En realidad, este científico, que empezó su carrera como astrólogo, acabó siendo el primer astrónomo de la historia en toda la extensión de la palabra.

El telescopio nos acerca el firmamento: Galileo Galilei

Hemos llegado hasta el siglo XVII, y la observación del universo ha sido una constante lucha entre la agudeza visual, los cada vez más sofisticados objetos de medición y la lejanía de los cuerpos que se pretendía estudiar. Los datos parecen haber llegado a un límite de exactitud difícil de superar, y los cálculos que se realizan con ellos, aun siendo excelentes para las condiciones en que se efectúan, distan todavía mucho de los deseos de los astrónomos, ansiosos por conocer mejor los astros observados.

Es preciso acercar la visión, distinguirlos mejor, percibir lo más lejano, para no sólo realizar cálculos, sino para describir también sus características y, lo que es más importante, saber qué hay más allá de los objetos perceptibles a simple vista.

Hasta ahora es cierto que, como hemos visto anteriormente, existieron algunos aparatos, los llamados *tubos de observación* en la lejana Persia, que pudieron jugar el papel de precursores del telescopio, pero no se hace realidad hasta que entra en escena el italiano Galileo Galilei (1564-1642).

Galileo perteneció a una familia de comerciantes que provenía de una nobleza venida a menos. Sus primeros estudios los desarrolló en la Universidad de Pisa, donde se educó en Medicina, Filosofía y Matemáticas. Fue esta última la ciencia que más le atrajo, y sobre todo su aplicación para el conocimiento del movimiento de los cuerpos.

En su obra *Theoremata circa centrum gravitatis solidum* expone diversos teoremas sobre el centro de gravedad de los sólidos. En 1586 construye la primera balanza hidrostática con la que calcular el empuje de los fluidos, cuestión sobre la que Arquímedes había postulado el famoso principio que lleva su nombre.

Obtiene una cátedra de Matemáticas en 1592 en la Universidad de Padua, en donde permaneció hasta 1610. Aquí profundizó su interés por la Física, especialmente en lo que se refiere a la caída de los cuerpos, la trayectoria parabólica de los proyectiles y el movimiento de los péndulos. En esa época Galileo escribe varios manuscritos que años después se recopilarían en un texto denominado *Las mecánicas de Galileo,* en el que se incluyen algunos pasajes esclarecedores; el primero que queremos resaltar es el que abre la obra y define el concepto:

> La ciencia de la mecánica es aquella disciplina que muestra las razones y descubre las causas de los efectos milagrosos que vemos que se producen con diversos instrumentos, como lo es mover y levantar pesos muy grandes con muy poca fuerza.

A continuación describe la gravedad diciendo: «Llamamos, por tanto, gravedad a la tendencia a moverse naturalmente hacia abajo, la cual, en los cuerpos pesados, se descubre causada por la mayor o menor abundancia de materia por la que estén constituidos».

Por último en este tratado, destacaremos cómo introduce el plano inclinado:

> No hay ninguna duda de que la constitución de la naturaleza acerca de los movimientos de las cosas pesadas es tal que cualquier cuerpo que en sí contenga gravedad tiene tendencia a moverse, si no se le impide, hacia el centro; y no solamente por la línea recta perpendicular, sino incluso, cuando no pueda hacerlo de otra manera, por cualquier otra línea que, teniendo alguna inclinación hacia el centro, vaya poco a poco bajando.

En cuanto a las máquinas, Galileo se muestra crítico con aquellos que ven rasgos mágicos a su movimiento, y dice: «Ninguna resistencia puede ser superada por una fuerza que no sea más potente que ella; para superar una resistencia dada se necesita emplear una fuerza más potente».

Ese es el milagro de las máquinas, emplear las fuerzas de la naturaleza de tal manera que se obre el portento. Aquí podemos recordar la famosa frase de Arquímedes: «Dadme un punto de apoyo y moveré el mundo». Como ejemplo de su interés por este tema, es de destacar su invención de una máquina elevadora de agua que utilizaba caballos como fuerza motriz, y que patentó en 1594.

En aquella época, Galileo no prestaba una especial atención por la astronomía, más bien se decantaba por la teoría heliocéntrica copernicana porque apoyaba su hipótesis acerca de que las mareas estaban provocadas por una Tierra en movimiento, fenómeno que hasta entonces nadie había conseguido explicar.

Pero en 1604 ocurre un fenómeno que reorienta el camino del sabio, la aparición de una estrella nova en los cielos aviva su interés por la astronomía, e intenta explicarla en varias conferencias criticando el modelo aristotélico por su inconsistencia ante estos fenómenos, pero sin decantarse firmemente, por entonces, por la solución copernicana, que comenta en varias cartas con Kepler. En relación con el fenómeno observado, publica en 1605 *Dialogo de Cecco di Ronchitti in perpuosito de la stella nova*.

En este momento entra en escena el alemán asentado en Holanda Hans Lippershey (1570-1619), fabricante de lentes que inventa el telescopio en 1608. Es cierto que algunos autores como Roger Bacon, por ejemplo, habían descrito teóricamente el empleo de lentes interpuestas para conseguir grandes aumentos de los objetos, pero no podemos hablar realmente de este artilugio hasta que Lippershey lo diseña. También es cierto que la autoría del invento es una controversia, pues varios coetáneos se lo adjudicaron; e incluso en los últimos tiempos parece que hay un español entre ellos, el gerundense Juan Roget. Este primer telescopio era, en cualquier caso, defectuoso, pues deformaba los objetos y no permitía ver las imágenes verticales.

Galileo recibe noticias del invento y se apresura a diseñar y construir uno él mismo, que presenta ante el Senado de Venecia en 1609. Aumenta la visión casi el triple que el telescopio holandés y corrige los defectos que este tenía. Pero no todo son parabienes, pues aunque casi en un año ha construido más de sesenta tipos de telescopios, muchos de ellos son prácticamente inútiles.

Con ellos, Galileo, incansable, comienza el escrutinio del firmamento. Plasma sus primeras observaciones en su obra *Sidereus nuncius* (*El mensajero de las estrellas*) que publica en 1610. Utilizando un telescopio de veinte aumentos describe la Luna y sus fases; y descubre que es un astro imperfecto –no es completamente esférico–, y que tiene incluso altas montañas, lo que iba en contra de la teoría aristotélica del impecable *mundo supralunar* en el que las formas de todos los objetos contenidas en él debían ser perfectas. En ese mismo libro comenta que algunas estrellas son en realidad cúmulos de ellas, cuenta las que hay en la constelación de Orión, y sobre todo descubre la existencia de satélites en Júpiter, los llamados *satélites galileanos* que hoy conocemos con los nombres de Calixto, Europa, Ganímedes e Ío. En su momento, los bautiza como *astros mediciens* en honor a Cosme II de Medici (1590-1621), gran duque de Toscana, que fue su alumno y en este momento su protector.

La observación telescópica permitía duplicar el número de estrellas observables, pero sin que estas aumentasen su tamaño, lo que era una prueba irrefutable de su grandísima distancia y, por lo tanto, de la imposibilidad de percepción de su movimiento, si es que existía.

Las siguientes observaciones las realiza en Florencia, pues acepta allí el puesto de primer matemático de la Universidad de Pisa, y es donde descubre los anillos de Saturno que no contempla como tales –su telescopio no daba para tanto– sino que los describe como unas deformaciones del entorno del planeta que denomina *asas*.

Asimismo, en 1610 distingue que Venus tiene fases y las describe, lo que le permite demostrar una vez más que este planeta gira en torno al Sol y no a la Tierra, pero no lo publicará hasta 1623 en su obra *Il saggiatore* (*El ensayador*).

Aunque las primeras referencias a manchas solares ya son referidas por astrónomos chinos allá por el 28 a. C., el científico italiano enfoca hacia el astro rey su telescopio y las redescubre. Publica su existencia en 1612 en *Cartas sobre las manchas solares*, y da otro golpe prácticamente definitivo a la teoría aristotélica, pues con ello comprueba la mutabilidad del Sol y su rotación sobre el eje.

En aquella época, Galileo aún conserva el apoyo de eminentes miembros de la Iglesia. como el cardenal Maffeo Barberini (1568-1644), que se posteriormente se convertiría en el papa Urbano VIII, así como el reconocimiento de la veracidad de sus descubrimientos por parte del jesuita cardenal Roberto Bellarmino. De hecho, se desplaza en 1611 a Roma para presentar sus hallazgos en el Colegio Pontifical de Roma y en la conocida como Academia de los *Linces*, en realidad la Academia de Ciencias, fundada en 1603. Dicta conferencias sobre sus observaciones e incluso es admitido como miembro de la citada academia.

Pero empiezan a aflorar las primeras críticas contra él y aquellos que apoyan sus descubrimientos. Son los dominicos Tommaso Caccini y Niccolo Lorini los primeros en censurarle. Caccini pronuncia un sermón en 1614, en Florencia, en el que carga ferozmente contra los nuevos descubrimientos, y le perseguirá durante toda su vida con sus testimonios, acusándole de hereje y contrario a las Sagradas Escrituras. El segundo fraile, profesor de Historia Eclesiástica en Florencia, directamente le denuncia ante la Inquisición.

El posicionamiento como católico de Galileo es incuestionable, lo describe en una carta dirigida a su discípulo y amigo Benedetto Castelli en 1613, recogida en la obra *Galileo, diálogos y cartas selectas*, en la que expone:

> Las Sagradas Escrituras no pueden equivocarse, sólo pueden hacerlo quienes las interpretan ateniéndose a un sentido literal; el sentido literal hay que dejarlo exclusivamente a los asuntos que son de fe; para el resto de cosas, que la experiencia sensible o las demostraciones necesarias hacen evidente o verdadero, no debe acudirse a la Escritura para mostrar una posible discordancia: como dos verdades no pueden contradecirse, quienes interpretan la Escritura han de hallar, para estos asuntos que no son de fe, el verdadero sentido de acuerdo con las conclusiones de la experiencia o de la razón; que nadie comprometa, pues, a la Escritura con interpretaciones que puedan oponerse a la ciencia; que quien acuda a ella se limite a cuestiones de fe.

A pesar de todo, Galileo es convocado por primera vez por el Santo Oficio en 1616. Allí la teoría copernicana es censurada y atacada sin piedad, y se la tacha de herética, absurda e insensata. Unas semanas después, la Inquisición y el propio papa Pablo V ratifican la censura y le prohíben seguir exponiendo sus descubrimientos basados en la teoría copernicana que, además, no puede enseñar ni defender, si bien le comunican que no se le juzga ni se le condena en esta ocasión.

De hecho, comienzan a prohibirse las obras que defienden la teoría heliocéntrica; la Congregación del Índice, tras consultar con un grupo de *especialistas* del Santo Oficio, incluye como tales el tratado de Copérnico *Sobre las revoluciones de las esferas celestes*, un escrito del agustino español Diego de Zúñiga, que interpretaba algún pasaje bíblico con visión copernicana, y un opúsculo del carmelita italiano Paolo Foscarini, que defendía este sistema alegando que no estaba en contra de las Sagradas Escrituras. Su argumentación era que estos libros o cualquier otro que defendiese el heliocentrismo eran falsos, pero curiosamente no los tacharon de heréticos. Por ello, una buena parte de la comunidad católica siguió manteniendo y desarrollando la nueva visión del universo.

Galileo muestra el empleo del telescopio al Dogo de Venecia, fresco de Giuseppe Bertini realizada en 1858, que se encuentra en la Villa Ponti de Varese, Italia.

Pero este proceso causa un fuerte impacto en Galileo, que reduce su investigación astronómica, y pasa a ocuparse de otros temas científicos. Hasta 1618 no retoma con cuidado los temas celestes tras observar el paso de tres cometas que le ratifican en la falsedad del concepto aristotélico de *incorruptibilidad celestial,* lo que comenta en su libro *Discurso sobre los cometas*.

En 1621 recibe el honor de ser nombrado cónsul de la Academia Florentina, mantiene algunos apoyos de círculos intelectuales y religiosos, pero sobre todo conserva el del cardenal Barberini, que es elegido papa en 1622 bajo el nombre de Urbano VIII, y al que dedica *Il saggiatore*, obra que como dijimos antes, publica en 1623.

En estos años también perfecciona el denominado *occhiolino*, un microscopio compuesto por dos lentes, una convexa y otra cóncava, que había fabricado por primera vez en 1609.

Viaja a Roma en 1624 y es recibido en varias ocasiones por el nuevo papa, con quien departe amistosamente, pues sigue protegiéndole, aunque le avisa de que no debe profundizar en cuestiones que pongan en entredicho las doctrinas ni basarse solamente en hipótesis. En todo caso, le anima a que prepare una obra en la que presente ambos sistemas, el aristotélico y el copernicano, de manera imparcial.

Como consecuencia de ello, prepara el que sería su gran escrito, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (*Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo*) que concluirá en 1630. Entonces, Galileo solicita la pertinente aprobación al maestro del Sagrado Palacio, el dominico Niccolò Riccardi, miembro del Santo Oficio y consejero teológico del papa, que ordena varios *ajustes* de la obra. Aunque, a pesar de que Galileo los realiza, no acaba de otorgarle el necesario permiso, que el científico no conseguiría hasta la intervención de su protector, el gran duque de Toscana. Esta autorización para la publicación llegó en 1631, y el libro por fin vería la luz en Florencia en 1632.

Galileo escribió la obra en italiano vulgar para conseguir una mejor difusión, y no en el culto latín que hubiera reducido su comunicación sólo a círculos más restringidos. El *Diálogo* está desarrollado como una conversación a lo largo de cuatro días entre tres personajes: Filipo Salviati, un florentino seguidor de Copérnico al que llaman el Académico y que representa a Galileo; Giovanni Sagredo, un veneciano ilustrado que representa la visión neutral, pues no toma partido en el asunto, y Simplicio, un vulgar defensor de la física aristotélico-tolemaica. Los argumentos de Salviati se basan principalmente en los descubrimientos de Galileo, que ya hemos comentado antes: las fases de Venus y las manchas solares que echan abajo la inercia de la Tierra y la inmovilidad solar, además de la existencia de las montañas lunares o los satélites jovianos, que destruyen la inmutabilidad del firmamento. Es cierto que el científico intentó apoyar también sus descubrimientos con una teoría sobre las mareas, que aunque parecía correcta en un principio, no era acertada como se comprobó años después. En la mención de todas estas pruebas estriba el principal error cometido por Galileo, pues se le autorizaba a exponer hipótesis o teorías, pero bajo ningún concepto a aportar tales pruebas irrefutables a favor de las ideas copernicanas.

Por otra parte, el personaje de Simplicio esgrime en varios momentos los mismos argumentos que habitualmente utilizaba el papa para defender la línea tradicional astronómica, con lo que se le identificó con él, lo que constituía una gran burla que le granjeó aún más enemistades, incluida la desaprobación del propio Urbano VIII, que se sintió traicionado y mandó crear una comisión que estudiase las acusaciones contra Galileo.

En consecuencia, el asunto llegó al Santo Oficio, que le reclamó para que se presentase en Roma en octubre de 1632. Galileo, enfermo y cansado, no en vano tiene sesenta y ocho años, retrasa con informes médicos su partida de Florencia, pero es imposible echar marcha atrás, y el Santo Oficio le requiere con empeño. Al fin llega a Roma en febrero de 1633 y se aloja en el palacio Firenze, donde se hallaba la embajada toscana, por decisión del gran duque. Allí espera dos meses hasta ser llamado ante el tribunal. Se le acusa de desobedecer la orden dada en 1616 acerca del copernicanismo. Aunque el acusado niega que en su obra se trate ese tema –cuestión bastante incoherente–, los teólogos afirman lo contrario, y su calvario se alarga diecisiete días, con amenazas constantes de torturas si no confiesa, lo que por fin reconoce, declarando que el libro contiene fuertes argumentos en favor del heliocentrismo. Se le condena a cadena perpetua, con la firma de siete de los diez cardenales presentes, y se le conmina a abjurar de sus ideas, cosa que hace inmediatamente, pues confía en obtener la clemencia del papa. El testimonio se realiza ante la Congregación de Cardenales en el Convento de Santa María sopra Minerva, y allí es donde, una vez firmada la declaración, la tradición sitúa su famosa frase final, *Eppur si muove* ('Y, sin embargo, se mueve').

Ocurre lo esperado por el reo, y se le conmuta la pena por un arresto domiciliario de por vida; además, se le prohíbe que en el futuro trate temas relacionados con el movimiento de la Tierra, el *Diálogo* entra en el Index y se envía copia de la sentencia a los nuncios e inquisidores, sobre todo al de Florencia, para que sea leída públicamente ante intelectuales y científicos.

Después de todo este tormento psicológico, pues no hay ninguna prueba que indique que hubiera tortura física, Galileo, con la salud deteriorada, vuelve a su casa de Arcetri, en Florencia.

Allí sigue trabajando en matemáticas y otros temas de física, escribiendo el que fuera su último libro *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze* (*Discurso y demostración matemática en torno a dos nuevas ciencias*) que incluye los tres mismos personajes que el libro anterior, en este caso discutiendo sobre las bases de la mecánica y sobre resistencia de materiales. En él continúa sus estudios sobre el movimiento, concretando dos de las tres leyes que lo rigen, tanto cuando la velocidad es constante (uniforme), como cuando acelera constantemente (uniformemente acelerado) que se aplica entre otros casos a la caída libre de los cuerpos. La tercera, la ley de la inercia, ya incluida en el anterior libro del *Discurso*, es especificada por Galileo así: «Un cuerpo en estado de reposo permanece en él si la superficie sobre la que se apoya es horizontal, y se mantendrá en el movimiento horizontal que lleve si no hay causa de retraso o de aceleración».

Se publica en 1638, el mismo año en que Galileo pierde la visión y se queda ciego. Entonces solicita que se le levante la condena y se le libere de su arresto, petición que es denegada.

En su última contribución científica, en 1641, propone el uso de péndulos en los mecanismos de los relojes. Su salud se quebranta gravemente y, tras dos meses de enfermedad, muere en su villa en 1642, dejando atrás una vida plena de descubrimientos, discursos, honores, disputas y sufrimientos, tras la cual la ciencia ya no volvería a ser como antes. Se había dado el gran paso, y en esta revolución la astronomía, entre todas las disciplinas, sería la mayor beneficiada por los descubrimientos de uno de los mayores sabios que ha dado la humanidad, el pisano Galileo Galilei.

En relación con esta terrible historia acerca del proceso a la ciencia y el tenso debate entre la fe y la evidencia, cabe concluir subrayando que hacia la primera
mitad del siglo XVIII la posición de la Iglesia se hizo insostenible ante la evidente teoría heliocéntrica, y por decisión del entonces papa Benedicto XIV la obra de Galileo fue borrada del Index de libros prohibidos, concretamente en 1741, y posteriormente ocurriría lo mismo con el resto de los tratados heliocéntricos. Ya en el siglo XX, en 1939, el papa Pío XII y en 1992 el papa Juan Pablo II –que ya había revocado públicamente la condena a Galileo en 1983–, rindieron homenaje al sabio italiano en sendos discursos ante la Academia Pontificia de las Ciencias.

La observación telescópica: el legado de Galileo

No es sólo Galileo quien dirige el telescopio al firmamento, sino que a medida que se van conociendo las posibilidades de este instrumento los científicos se precipitan a emplearlo para aumentar sus probabilidades de desentrañar los misterios celestes.

Otro italiano, el siciliano Giovanni Battista Hodierna (1597-1660), siguió los pasos del maestro. Cursó estudios de Matemáticas, Óptica y Botánica y se ordenó sacerdote. Fue testigo telescópico de los cometas de 1618, gran entusiasta de la labor de Galileo y estudió preferentemente el sistema solar.

Sus publicaciones no son muy conocidas, pues se circunscribieron a su localidad y no tuvieron gran difusión. En todo caso, su libro *Protei caelestis vertigines sev. Saturni sistema*, publicado en 1657, es el más conocido, y en él describe y dibuja los anillos de Saturno con su forma anular. También observó el movimiento de los satélites jovianos, las manchas solares y los eclipses.

Es famoso por sus observaciones del espacio profundo, en el que describió un total de cuarenta nebulosas, que pronosticó que estaban constituidas por material estelar y que clasificó como *luminosas* (visibles a simple vista), *nebulosas* (resueltas con telescopio) y *ocultas* (sin resolver), lo que publicó en otra de sus obras *De systemate orbis cometici; deque admirandis characteribus coeli* (*Sistemática del mundo de los cometas y de los objetos admirables del cielo*).

Contemporáneo del anterior, entra en escena otro astrónomo polaco; se trata de Jan Heweliusz (1611-1687), conocido por nosotros como Johannes Hevelius, que se caracterizó por su gran agudeza visual que le permitía hacer observaciones muy precisas. Hijo de comerciantes, estudió Derecho en la Universidad de Leyden y, aunque ya desde la escuela mostró interés por la astronomía, sus viajes por Europa, en donde contactó con varios astrónomos, le decantaron manifiestamente hacia el estudio de estos conocimientos.

Aunque a su vuelta a Gdańsk, su ciudad natal, tuvo que dedicarse a los negocios familiares, a partir de 1639, tras observar un eclipse de Sol, decidió emplearse por completo en la observación celeste instalando dos años después un observatorio en su misma residencia. El propio rey polaco Juan II Casimiro Vasa le visitó y quedó tan admirado que le otorgó una dotación económica para apoyarle en sus trabajos.

Comenzó realizando observaciones de las manchas solares, con lo que consiguió determinar con mayor precisión el período de rotación del astro. Posteriormente, en 1647 publicó su obra *Selenographia*, que contenía una precisa cartografía lunar con sesenta dibujos cuidadosamente trazados, en donde sugería la palabra *mares* para las zonas oscuras, y donde además, examinaba el proceso de *libración* –movimientos de oscilación del disco lunar– que sufre nuestro satélite.

Describió el paso de una buena cantidad de cometas –hasta ocho– incluido el del cometa Halley en 1682, y publicó sus observaciones principales en dos tratados, *Cometicus prodomus* en 1665, seguido por *Cometographia* en 1668. Sus ideas para el desplazamiento de estos cuerpos versaban en torno a órbitas parabólicas alrededor del Sol.

En 1664 fue elegido miembro de la Royal Society británica –institución privada fundada en 1660 equivalente a la Academia de Ciencias– y posteriormente, en 1666, le ofrecieron la dirección del observatorio de París, que rechazó.

Gracias a sus excelentes dotes visuales y a las mejoras que realizó en los instrumentos tradicionales de observación que empleaba, fue capaz de estudiar muchas estrellas, y preparó un inventario estelar de gran precisión, con 1.564 de ellas. De hecho, el astrónomo inglés Edmond Halley fue

comisionado por la Royal Society para comprobar su exactitud. Cargado con un sextante de mira telescópica, le visitó y realizó observaciones que comparó con las de Hevelius, que aunque utilizaba el telescopio con otros fines, ubicaba las posiciones estelares sin su ayuda. Halley no fue capaz de demostrar que sus medidas fuesen más rigurosas que las del científico polaco. Por desgracia, el incendio provocado que sufrió su casa en 1679 destruyó una gran parte de sus datos y el mismo observatorio, lo que impidió que el catálogo saliera a la luz en vida de Hevelius. *Prodomus astronomiae* se publicó póstumamente en 1690.

Pero el interés por emplear el telescopio siguió creciendo, y se multiplicaron los científicos deseosos de conocer los misterios que encierra el Cosmos. Especialmente notable en este campo fue el italiano –aunque nacionalizado francés desde 1669– Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), que se educó con los jesuitas y posteriormente en la abadía de San Fructuoso. En 1944 comenzó sus indagaciones en el observatorio de Panzano, empleado por el marqués Cornelio Malvasía, fascinado por cuestiones astrológicas, tema que en aquellos años interesaba al joven Cassini. A los veinticinco años fue nombrado profesor de Matemáticas y Astronomía en la Universidad de Bolonia gracias al apoyo de su benefactor marqués.

Además de trabajar en hidráulica e ingeniería, durante más de quince años observó detenidamente Júpiter y sus satélites, publicó una tabla con sus datos de movimientos –efemérides– en la que incluyó sus eclipses, describió por primera vez la Gran Mancha Roja y calculó el período de rotación del planeta. También midió la duración de la rotación de Marte en 1666, y estudió sus cambios estacionales.

En aquella época se pensaba que la luz tenía una velocidad infinita, y aunque de sus observaciones dedujo que esta debía de ser finita, no fue capaz de admitir sus propias conclusiones y rechazó este extremo.

En 1669 se trasladó a París invitado por el rey Luis XIV para formar parte de la Academia de Ciencias, donde fue requerido para ser nombrado director del observatorio astronómico de esa ciudad, en cuya construcción participó y cuyo cargo desempeñó hasta su fallecimiento. Estudió Saturno con gran perseverancia entre 1671 y 1684, y llegó a descubrir cuatro de sus satélites, Japeto, Rhea, Tetis y Dione, que bautizó como *estrellas de Luis* en honor al monarca francés. Aunque se le recuerda más por haber descubierto en 1675 la separación de unos cuatro mil ochocientos kilómetros que existe entre los anillos exterior e interior del planeta, y que lleva su nombre, la *División de Cassini*.

En 1679 preparó un mapa tan detallado de la superficie lunar que se siguió utilizando hasta la llegada de la técnica fotográfica astronómica.

Cuatro años después observó la denominada *luz zodiacal*, que es una tenue banda de luz observable en el cielo nocturno en la zona de las constelaciones del Zodiaco, causada por la dispersión de la luz solar a causa de las partículas de polvo, y que es responsable de buena parte de la luminosidad existente en las noches sin luna. También calculó que el eje de rotación de la Tierra alrededor del Sol no estaba colocado perpendicularmente, sino inclinado más de veintitrés grados respecto de la eclíptica.

Poco a poco, la salud del astrónomo se resintió, y como consecuencia de los prolongados períodos de observación celeste durante tantos años, se quedó ciego en 1711, y su hijo Jacques pasó a asumir sus responsabilidades en el Observatorio de París.

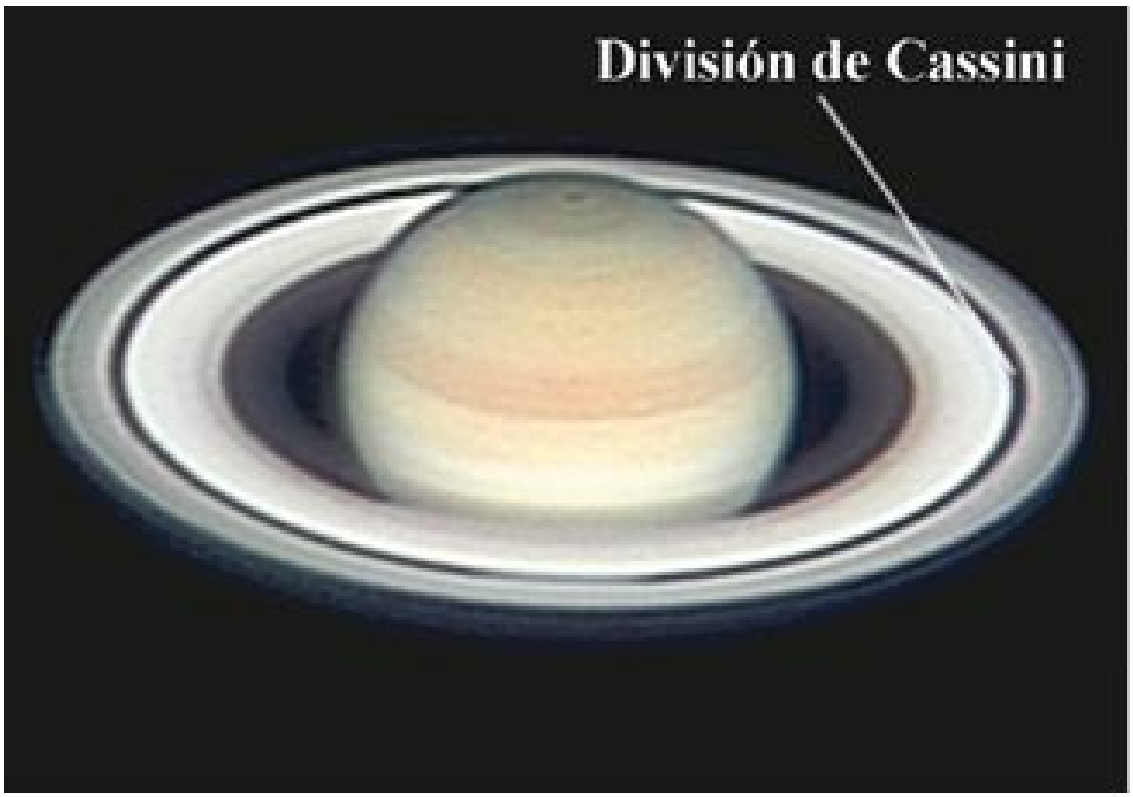


Imagen de los anillos de Saturno donde se muestra la división existente entre los anillos interior y exterior del planeta, descubierta por Giovanni Cassini en 1675.

A pesar de todo, Cassini nunca fue un convencido heliocentrista, ni aceptaba completamente las formas elípticas de Kepler para el giro planetario. Es curioso, porque sus propios descubrimientos contribuyeron indudablemente a confirmar estos extremos.

Una vez que el telescopio se había impuesto como el instrumento más valioso para conseguir escrutar los objetos lejanos, el límite lo imponían las lentes. Sólo su mejora podía permitir observar los objetos con más detalle o aquellos cada vez más lejanos. Y aquí toma protagonismo el astrónomo holandés Christian Huygens (1629-1695). De origen acomodado, no en vano su padre era diplomático, cursó estudios en la Universidad de Leiden y en el Colegio Orange de Breda, donde terminó Derecho y Matemáticas, disciplina esta última que consiguió cautivarle, a lo que contribuyó la presencia habitual en su casa del amigo de la familia René Descartes; este interés lo compartió también con la astronomía y la física.

Ya desde muy pequeño, Huygens estaba fascinado con la observación del firmamento, afición que compartía con su hermano, y llegó a trabajar el pulido de lentes con gran dedicación con el objetivo de obtener mejores imágenes. De hecho, junto con el filósofo Baruch Spinoza, que para ganarse la vida se había convertido en pulidor de lentes, consiguió preparar un método con el que conseguía acabados muy bien perfilados. En 1655 terminó de construir un telescopio, que permitía aumentos cincuenta veces mayores que los de Galileo, con el que observando Saturno fue capaz de discernir y describir claramente sus anillos (ya percibidos por Galilei), así como el mayor de sus satélites, Titán.

En 1659 publicó sus conclusiones en su obra *Systema saturnium*, donde también comentó sus observaciones de la nebulosa de Orión e indicó que en su interior existían diminutas estrellas.

Mientras tanto, trabajaba también en el campo de las matemáticas, principalmente en el de la teoría de las probabilidades.

Dado que las mediciones astronómicas precisaban observaciones ajustadas en el tiempo, se dio cuenta de que debía mejorar los instrumentos para su cronometraje, con lo que diseñó el primer reloj de péndulo, que incrementó considerablemente la precisión de su medida.

Se desplazó a Londres en 1661 para entrar en contacto con los miembros de la Royal Society, con quienes comenzó a reunirse de forma habitual para intercambiar conocimientos, y llegó a ser nombrado miembro de ella dos años después.

En 1666, Huygens regresó a París por invitación de Luis XIV con el fin de que se incorporase a la Academia Francesa de Ciencias para liderarla. Allí estrechó su amistad con el también matemático Gottfried Leibniz. Fueron años difíciles para el científico por la guerra que por aquel entonces libraban Francia y los Países Bajos. En 1672 volvió a La Haya, su ciudad natal, donde siguió experimentando con los fenómenos luminosos, manifestándose a favor de una velocidad finita para la luz.

Volvió a París en 1678 para publicar su obra más importante, *Traité de lumière*, en donde argumentaba la naturaleza ondulatoria de la luz. En ella explicaba de manera convincente los fenómenos de reflexión, refracción y doble refracción de la luz.

En sus últimos años viajó incansablemente entre La Haya –donde siguió construyendo telescopios cada vez más imponentes–, París y Londres, donde departió con los científicos más importantes del momento, incluido Isaac Newton, pero pese a la gran admiración que sentía por él fue incapaz de aceptar sus conceptos sobre la naturaleza corpuscular de la luz, ni la ley de la gravitación universal, que llegaría a convertirse en el pilar más importante de la astronomía universal.

Huygens fue un gran artesano de la época telescópica, al mismo tiempo que un importante teórico de conceptos matemáticos y, sobre todo, físicos ligados a las fuerzas de rotación de los objetos y al desplazamiento de la luz.

En aquel momento, los conocimientos astronómicos se habían estancado de nuevo, necesitaban una nueva base teórica que consiguiera explicar muchas de las observaciones que los modernos aparatos proporcionaban. Había llegado el momento de dar el salto cualitativo más importante de todos los tiempos, era el turno de la revolución moderna del conocimiento astronómico, de uno de los mayores, sino el mayor, científico de todas las épocas, Isaac Newton.

Las leyes de la dinámica celeste: Newton

La revolución científica alcanza su cénit con la incursión en la historia del inglés Isaac Newton (1643-1727), al que podemos considerar lo que antiguamente se denominaba *hombre renacentista*,

pues sus conocimientos e intereses se extendieron a muchas de las ramas del saber: fue físico, matemático, astrónomo, filósofo, inventor e incluso practicó la alquimia.

Hijo de familia humilde, cursó sus estudios primarios en The King's School en Grantham, situado a unos trece kilómetros de la casa familiar en Woolsthorpe (Lincolnshire), donde además de comenzar a mostrar su difícil carácter –pues tuvo diferentes incidentes con sus compañeros– se reveló por su gran habilidad para construir objetos mecánicos y raros inventos, como un molinillo de viento impulsado por un ratón.

En 1661 ingresó en el Trinity College de Cambridge, aunque no solía asistir a clases, sino que estudiaba de manera autodidacta filosofía, geometría, aritmética, óptica y comenzaba a interesarse por la química. Asimismo, profundizaba en las obras de los eruditos más destacados: Galileo, Kepler, René Descartes, John Wallis, Pierre de Fermat y Christiaan Huygens, entre otros. Se graduó en 1665.

Es entonces cuando la epidemia de peste le obliga a retirarse a la casa familiar, donde trabaja incansablemente en sus cálculos teóricos; en esta época postula el teorema del binomio, descubre los principios de la gravitación –que guarda en secreto– y analiza la física de los colores de la luz.

En 1667 es contratado por el Trinity College como profesor, y en 1669 alcanza la Cátedra Lucasiana de Matemáticas de la Universidad de Cambridge, que siempre gozó de muy alto prestigio y entre sus célebres ocupantes podemos destacar por ejemplo, a un científico actual, Stephen Hawking.

En estos años profundiza en el estudio de la luz, demostrando que la blanca está formada por una gama de colores superpuestos (rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta), separables por la acción de prismas ópticos. Como consecuencia, perfecciona el telescopio reflector, que utiliza espejos en lugar de lentes para enfocar mejor la luz y así visualizar de forma óptima las imágenes evitando la aberración cromática que las degrada al dispersarla en sus colores constituyentes. Este telescopio se conoce hoy en día como telescopio newtoniano. Es en 1704 cuando publica el conjunto de sus trabajos en su obra *Opticks,* en donde incluye su teoría sobre la naturaleza corpuscular de la luz en contra de las teorías de Huygens y Robert Hooke, que la suponen ondulatoria. Hoy en día se acepta la naturaleza dual *onda-corpúsculo* de la luz.

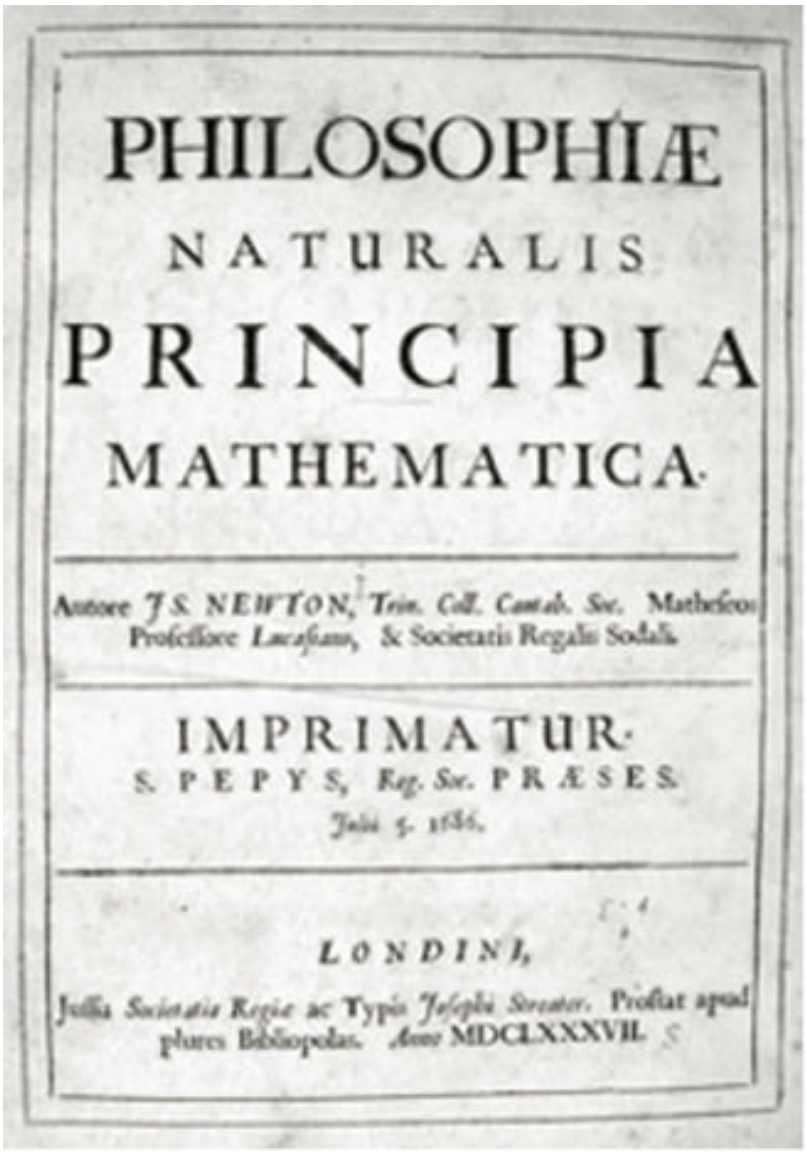
Newton era reacio a publicar sus descubrimientos y comenzó a mantener una correspondencia intensa acerca de sus teorías y descubrimientos con miembros de la Royal Society, y como resultado de ello algunos le criticaron agriamente y, en cambio, otros le animaron con grandes elogios.

En 1687 publicó su obra maestra *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Principios matemáticos en la filosofía natural*), en la cual recoge y culmina sus estudios acerca de los principios físicos y astronómicos sobre la base de la geometría. En este libro se encuentran entre otros conceptos, las tres leyes de la dinámica, de alguna manera sugeridas por Galileo, en las que relaciona movimientos y fuerzas asociadas:

- La primera ley, o de la inercia, dice: «Todo cuerpo sobre el que no actúa ninguna fuerza, si está en reposo permanece en él, y si está en movimiento, este tendrá velocidad constante».

- La segunda ley, o fundamental, afirma: «Las fuerzas son proporcionales a las aceleraciones que producen en los cuerpos».
- Y la tercera ley, o de acción y reacción, se explicita a su vez así: «Todo cuerpo sometido a una fuerza (acción) experimenta otra igual, en la misma dirección y de sentido contrario (reacción)».

Pero aun siendo básicos estos principios, la parte revolucionaria de esta obra y la imprescindible para entender el movimiento de los objetos celestes es la ley de la gravitación universal, que determina: «Cualquier cuerpo ejerce una fuerza sobre otro proporcional al producto de sus masas interactuantes e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa».



PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore J.S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

Portada del libro Philosophiae naturalis principia mathematica, publicado por Isaac Newton en 1687, donde expone sus estudios sobre algunos de los fundamentos básicos de la física y de la astronomía, especialmente lo referido a la ley de la gravitación universal.

Esta ley explica completamente las leyes de Kepler y es capaz de concretar el movimiento de cualquier astro en el firmamento. Como consecuencia, permite calcular también las masas del Sol, de la Tierra –demostrando que es un esferoide aplanado– y de los planetas con sus satélites, así como el movimiento de los cometas, e incluso consigue establecer la teoría de las mareas.

En los últimos años de su vida fue elegido miembro del Parlamento y se dedicó al estudio de los movimientos de los fluidos. Dejó su puesto de profesor en 1696 para ser nombrado director de la Casa de la Moneda, y propuso emplear el *patrón oro* por primera vez. Abandonó entonces toda actividad científica para sumergirse en los estudios teológicos. En 1703 también fue nombrado presidente de la Royal Society, cargo que desempeñó hasta su muerte. Y en 1705 la reina Ana Estuardo le nombró *sir*.

Fue un hombre muy respetado y recibió muchos honores, de hecho se le enterró en la abadía de Westminster junto a los grandes hombres de Inglaterra; como sabio fue excepcional, y no en vano se puede afirmar que la física y la astronomía alcanzan por fin la base matemática adecuada que les permite entrar en su edad moderna, en donde ya se trabaja con la certeza que da el conocimiento exacto de cómo y por qué son los movimientos de los objetos del cosmos, de tal manera que por fin se ha alcanzado el entendimiento de la mecánica celeste.

Después de dos siglos de continuos avances y descubrimientos sorprendentes, no exentos de controversias religiosas con la Iglesia católica y sobre el papel del ser humano en la creación, la razón se impone, y la revolución científica que comienza con Copérnico culmina de manera extraordinaria con la magna obra de Newton.

4

Astronomía moderna

Por fin todo había cambiado; desde Newton la astronomía había conseguido la *mayoría de edad* y ocupado el lugar que le correspondía dentro del amplio abanico de las ciencias, abandonando su dependencia del esoterismo al que la había relegado la astrología. Por fin era posible predecir con exactitud el comportamiento de los objetos celestes, sus movimientos armoniosos en el espacio, sus dependencias e interrelaciones. Por fin podíamos observar más allá de lo permitido por la simple visión ocular para escrutar el firmamento como nunca antes había sido posible, donde los nuevos instrumentos nos permitían alcanzarlo y, lo que es más importante aún, proporcionaban a los científicos la posibilidad de seguir preguntándose cómo son esos objetos celestes y qué hay más allá. El avance de la astronomía tenía ya los motores preparados, la curiosidad los alimentaba, ya sólo se precisaba dejar transcurrir el tiempo para que los descubrimientos fueran encadenándose unos con otros.

Estamos ya acabando el siglo XVII, y la corriente intelectual conocida como Ilustración comenzará poco a poco a iluminar la mayor parte de los rincones del viejo continente. En realidad, hay que buscar los orígenes de este movimiento en el Renacimiento y en su evolución con el racionalismo y el empirismo ligados a él. Los teóricos y los investigadores unen sus esfuerzos en el campo de la razón, el progreso y el estudio de la Naturaleza, que son considerados los pilares básicos de este movimiento.

Es el siglo XVIII, el que ya conocemos como Siglo de las Luces, el que recibe todo el empuje de personalidades tan influyentes como Charles Louis de Secondat barón de Montesquieu, Voltaire, Jean-Jacques Rousseau, Denis Diderot, Jean le Rond D'Alembert, Adam Smith, Benjamin Franklin o Emmanuel Kant, que contribuyeron sin duda a facilitar la evolución de la sociedad hacia nuevos propósitos que buscaban superar la, hasta entonces, unión de la religión, las supersticiones o el fanatismo de todo aquello que se pudiera demostrar, de todo aquello que fuera evidente, para permitir el progreso imparable de la ciencia.

Y todas estas aportaciones darán frutos cuya trascendencia se extenderá a lo largo de un período de cambios en la vida y en el conocimiento, cambios que conducirán a una época de revoluciones de todo tipo: industrial, científica, política, social, económica, filosófica…, que en definitiva diseñará lo que resultó ser el siglo XIX.

Estamos ante una etapa apasionante, son más de dos siglos que han influido de manera trascendente en el pensamiento actual. Este es el período que vamos a incluir en este capítulo, en el que estudiaremos y analizaremos los principales acontecimientos y descubrimientos que marcan lo que se designa como astronomía moderna.

La luz nos informa del pasado del universo

Desde tiempos inmemoriales la luz constituía algo mágico e insondable. Proporcionaba calor y separaba las tinieblas de la noche de la claridad del día. Asimismo, iluminaba el firmamento nocturno con pequeños puntos, al parecer inmóviles, en la cúpula estelar. El Sol era responsable de su existencia, y como hemos comentado ya, en muchas culturas lo adoraban por ello.

Aunque los antiguos griegos ya discutían el problema de la luz, sólo lo hacían bajo premisas filosóficas. Es preciso esperar al siglo X, cuando el científico árabe nacido en Basora, Alhazen (965-1040), experimenta con la luz y sus propiedades. Trabaja con lentes, y en sus escritos describe y analiza por primera vez los fenómenos de reflexión y refracción de la luz. Asimismo, defiende que la luz proviene del Sol, y que los objetos se pueden ver porque, al reflejarla, su imagen alcanza el ojo.

Hasta seiscientos años más tarde no se se retoman los estudios sobre la luz, indagando acerca de su naturaleza y velocidad. En relación con su naturaleza ya hemos comentado en el capítulo anterior las hipótesis de Huygens y de Newton, ondulatoria y corpuscular, respectivamente. Pero el problema de la velocidad permanecía intocable. ¿Su velocidad era medible, como afirmaban unos, o era infinita, como aseveraban otros? Ya Galileo intentó comprobarlo en 1638 colocando dos hombres con sendas linternas en dos montes bastante separados que debían responderse al ver la luz del otro, midiendo el tiempo transcurrido. El experimento no resultó porque, como hoy sabemos, era imposible medir diferencias temporales tan pequeñas.

Fue en 1676 cuando el danés Ole Rømer (1644-1710) lo consiguió por primera vez. Estudió Astronomía en la Universidad de Copenhague y trabajó con el astrónomo Jean Picard, que le animó a trasladarse a París, donde consiguió ingresar en la recién creada Academia de Ciencias. Trabajó en el Observatorio de París junto con Cassini observando las lunas de Júpiter. Cassini mantenía la hipótesis de la velocidad infinita de la luz, mientras que Rømer pensaba que era mensurable. Precisamente, observando los eclipses de su satélite, comprobó que su luz, al entrar o salir de la sombra del planeta, tardaba menos tiempo en llegar a la Tierra cuando este se encontraba cerca de Júpiter que cuando se hallaba más alejado. Además, fue capaz de medir su velocidad, cuyo valor fijó en 225.000 kilómetros por segundo en su artículo «Démonstration touchant le mouvement de la lumière», publicado en el *Journal des Sçavans*.

Rømer volvió a Copenhague, donde trabajó como profesor de Astronomía en la universidad y obtuvo el cargo de astrónomo real. Inventó un instrumento denominado *micrómetro* para observar los eclipses con más facilidad, y determinó la posición de más de mil estrellas desde el observatorio de dicha ciudad, que fue destruido en un incendio en 1728, y en el que se perdió la mayor parte de sus trabajos científicos.

Pero el verdadero valor de la velocidad de la luz no había sido encontrado, pues el hallado por Rømer era alrededor de un veinticinco por ciento menor. El astrónomo inglés James Bradley (1693-1762) acercaría mucho más el dato a la realidad. Estudió Teología en el Balliol College de Oxford y se ordenó sacerdote en 1719, pero al mismo tiempo desarrolló un gran interés por el estudio del cosmos, animado por su tío el astrónomo James Pound. Fruto de ello, conseguiría en 1721 el puesto de profesor de dicha ciencia en la Universidad de Oxford. Fue amigo del también astrónomo Samuel Molyneux, con quien colaboró en el observatorio que tenía en su mansión en Kew Green (Londres). Allí Bradley realizó muchas observaciones con las que intentaba medir a través del método del paralaje las distancias de las estrellas cercanas; en sus ensayos se percató de que al moverse la Tierra, la luz de la estrella observada no llegaba en vertical al telescopio, sino que era preciso modificar su posición inclinándolo en la dirección del movimiento, tal y como si la estrella hubiera modificado levemente su posición en el espacio, fenómeno que se conoce como *aberración de la luz*, que sólo es posible si la luz tiene un valor finito, como había avanzado Rømer. Se sirvió de él para calcular la velocidad lumínica, que fijó en 283.000 km/s, ya sólo poco más del cinco por ciento menor que el valor real. La Royal Society presentó sus conclusiones en 1729 y con ello se zanjaba la cuestión de que la luz tuviera un valor incalculable.

Posteriormente, los científicos fueron desarrollando diversos experimentos para ajustar mejor el valor de la medida de la velocidad de la luz, que en la actualidad se toma como 299.792,458 km/s, que para facilitar los cálculos suele aproximarse a 300.000 km/s.

Esta circunstancia provoca que la llegada de la luz desde el punto de origen a nuestros ojos no sea instantánea, sino que transcurra un tiempo determinado desde su origen hasta el destino. Así, la luz del Sol, que está a unos 149,6 millones de kilómetros aproximadamente, tarda en llegar a nosotros unos ocho minutos y treinta segundos; es decir, vemos el Sol como era hace ese tiempo. Lo mismo se puede inferir de la luz de las restantes estrellas; por ejemplo, la estrella más cercana, Próxima Centauri, se encuentra a 39.924.272.160.000 km, y su luz tarda en llegar a nosotros 4,22 años, con lo que cuando la apreciamos en el firmamento estamos viendo cómo era esa estrella hace 4,22 años. La consecuencia más inmediata es que al ver una estrella estamos viendo su pasado; es decir, al ver las estrellas más y más distantes, que ni siquiera sabemos si existen ahora, podemos afirmar que en ellas estamos viendo el pasado del universo.

Dadas las grandes distancias a las que se encuentran las estrellas –como se puede apreciar al considerar la de la más cercana–, no es práctico medirlas en kilómetros, así que la medida más habitual utilizada es la del año luz; es decir, la distancia que la luz recorre en un año. Por ejemplo, la estrella Sirio, de la constelación del Can Mayor, está a 8,6 años luz; Aldebarán, de la constelación de Tauro, a unos sesenta y cinco años luz,; la estrella polar, de la constelación de la Osa Menor, está a unos 431 años luz; Betelgeuse, en la constelación de Orión, está entre unos seiscientos cincuenta y

ochocientos años luz, S Cassiopea, de la constelación del mismo nombre, está entre 1.430 y 2.770 años luz, hasta llegar a la estrella más lejana que se ha podido apreciar y que está –*estaba*– a más de trece mil millones de años luz de nosotros.

El movimiento de los cometas

Aunque hemos comentado en capítulos anteriores que desde la Antigüedad ya existen referencias documentadas del paso de cuerpos celestes que atraviesan el firmamento dejando un rastro en forma de cola visible desde la Tierra, hasta que Edmund Halley (1656-1742) no procedió a su estudio y documentación no se incluyeron formalmente en el campo astronómico con el nombre de cometas.

Este científico inglés de familia acomodada se interesó desde muy joven por las matemáticas y la astronomía, y se trasladó en 1676 a la isla de Santa Helena, situada en el sur del océano Atlántico, con el fin de observar las estrellas del firmamento austral, y como consecuencia de ello publicó en 1679 el *Catalogus stellarun australium*, donde se indicaba la posición de 341 estrellas.

Gran amigo de Newton, no en vano le costea la publicación de su libro *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, utiliza su ley de la gravitación universal para calcular la órbita de los cometas, pues propugna que describen órbitas elípticas de gran excentricidad alrededor del Sol, por lo que repiten su paso por las proximidades de la Tierra con periodicidad. Observa en 1682 el paso de uno de ellos, y mediante cálculos acertados pronostica, en 1705, su vuelta en 1758. Este cometa, que es el ya observado por Reggiomontano en 1466 y por Kepler en 1607, como hemos visto en capítulos anteriores, tiene un período de alrededor de setenta y seis años según los cálculos de Halley. La comprobación del paso de este cuerpo celeste en la fecha prevista por el científico confirmó la validez del análisis, y en honor a él –que había fallecido dieciséis años antes– se le bautizó como cometa Halley. La última vez que nos acompañó, seguramente muchos lectores lo recordarán, fue en 1986.

Los cometas forman parte de nuestro sistema solar y están compuestos por agua, dióxido de carbono –hielo seco–, amoniaco y metano, todos en estado sólido debido al frío del espacio interestelar, además de algunos metales y silicatos. Se especula con que también pueden contener materia orgánica precursora de la vida, por lo que el posible impacto de los cometas sería el responsable de su origen en nuestro planeta.

En su viaje orbital, al acercarse al Sol los cometas van calentándose, de manera que sus componentes pasan al estado gaseoso desprendiéndose de ellos y mostrando esa formación de cola, compuesta por lo general de polvo y gas, que tanto los caracteriza. Lógicamente, esto produce, vuelta tras vuelta, el progresivo desgaste del material cometario, con lo que el astro va reduciendo su tamaño hasta la desaparición. Cuando la Tierra atraviesa la cola de un cometa –que puede tener varios millones de kilómetros de longitud–sus fragmentos chocan con la atmósfera y arden, provocando la aparición de pequeños puntos luminosos, son estrellas fugaces.

Los cometas provienen de dos lugares, la nube de Oort y el cinturón de Kuiper. El primero corresponde a una zona de aglomeración de cometas y asteroides situada a un año luz de la Tierra, en

los confines del sistema solar. Su existencia fue postulada por el astrónomo holandés Jan Oort (1900-1992) en 1950. No ha sido observada directamente, aunque los astrónomos estiman que podría contener entre uno y cien billones de cometas de los denominados de período largo, aunque hay excepciones, como el cometa Halley, de corto período, que proviene de este lugar. El cinturón de Kuiper se considera la fuente de los cometas de período corto y está situado fuera de la órbita de Plutón. Su nombre se debe al astrónomo estadounidense de origen holandés Gerard Kuiper (1905-1973), que sugirió su existencia en 1960, comprobada después en 1991. Su origen está en los deshechos restantes de la formación del sistema solar. Algunos de los objetos que contiene –además de los cometas– son de un tamaño que rivaliza con el del propio Plutón.

El tamaño de los cometas oscila entre los menores valores inferiores a 1,5 kilómetros (cometa *aquino*), pasando por rangos pequeño, mediano, grande o gigante, hasta llegar al de tipo *goliat* de más de cincuenta kilómetros de diámetro. Los cometas pueden mantener su existencia incluso hasta cien años, aunque hay unos pocos aún más longevos.

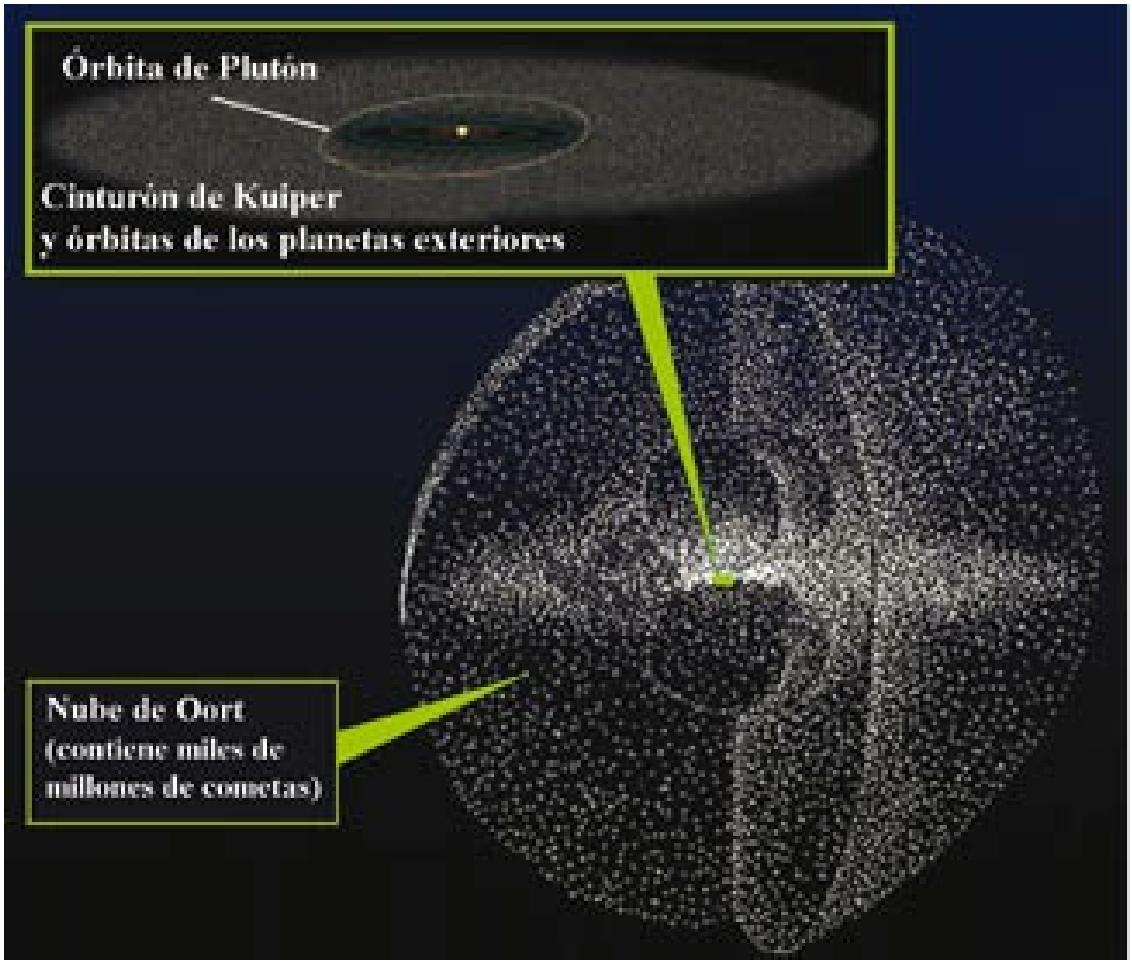


Imagen simulada de la nube de Oort, que engloba todo el sistema solar, en cuyo interior, y rodeando nuestro sistema, se halla el cinturón de Kuiper, fuera de la órbita de Plutón.

Algunos cometas famosos, además del Halley, son el gran cometa observado en 1577 por Tycho Brahe durante setenta y cuatro días; el gran cometa de 1744, muy luminoso y con la peculiaridad de mostrar seis colas; el gran cometa de 1811, cuya visión duró casi nueve meses, y el cometa Borrelly, descubierto en 1904 y que a su vuelta a las cercanías de la Tierra, en 2001, fue seguido y fotografiado de cerca por la nave *Deep Space 1*.

A finales de 1865 Ernst Tempel, y a principios de 1866 Horace Parnell Tuttle descubrieron el paso de un cometa, el Tempel-Tuttle, con un ciclo de treinta y tres años, cuya más importante peculiaridad es que la Tierra, una vez al año, atraviesa los restos dejados por su cola, lo que provoca una singular lluvia de estrellas cuando estos desechos entran en la atmósfera como meteoros a una velocidad de aproximadamente setenta y dos kilómetros por segundo y arden por la fricción. Allá por 1832 los científicos pensaban que las estrellas fugaces provenían de la constelación de Leo, y por ello bautizaron al fenómeno como *Leónidas*; ocurre entre el 15 y el 21 de noviembre cada año.

Pero en los últimos años han aparecido otros cometas que merecen un comentario más detallado: el cometa Shoemaker-Levy 9, descubierto en 1993, cuya peculiaridad más sobresaliente fue que era el único cometa conocido que orbitaba en torno a un planeta –Júpiter– en lugar de en torno al Sol. Posiblemente fue capturado por el planeta en una de sus trayectorias, a mediados de los años sesenta. Se trataba de un cometa de núcleos múltiples, con un período orbital de unos dos años. Los astrónomos se percataron de que la órbita que mantenía era tan cercana al planeta que las fuerzas de marea jovianas acabarían por despedazarlo atrayéndolo hacia su atmósfera. El telescopio espacial Hubble descubrió su fragmentación, que llegó a ser de hasta once pedazos mayores –entre 2,5 y 4,3 kilómetros– y otros tantos menores. Entre el 16 y el 24 de julio de 1994 impactaron con Júpiter a una velocidad de unos sesenta kilómetros por segundo; se generó primero un fogonazo, seguido de un destello, una bola de fuego y, por fin, una mancha oscura que duró varios meses en el caso de los cuerpos mayores. Los estudios de los átomos y las moléculas detectados tras la colisión sirvieron a los científicos para desentrañar un poco más la peculiar atmósfera del planeta. Como curiosidad, podemos asegurar que de haber chocado este cometa con la Tierra, no estaríamos aquí ahora; la extinción de la raza humana sería un hecho.

Otro de los cometas destacados en los últimos tiempos fue el denominado Hyakutake de 1996, descubierto por el astrónomo japonés aficionado que le dio su nombre. Se trataba de un cometa pequeño, de unos dos kilómetros, de período largo, que volverá por nuestras proximidades dentro de unos 72.000 años. Su peculiaridad principal radicaba en la cercanía de su distancia con la Tierra, unos quince millones de kilómetros, y en su coloración azul verdosa, resultado de las emisiones de carbono diatómico. Casualmente, la sonda Ulysses (lanzada en 1990 por el transbordador espacial *Discovery* para estudiar el Sol) atravesó su cola, lo que permitió determinar su longitud, que se estimó en quinientos setenta millones de kilómetros, el doble de la más larga conocida hasta entonces.

También es preciso resaltar el gran cometa Hale-Boop, de 1997, observado durante dieciocho meses; su tamaño de cincuenta kilómetros, su gran luminosidad y sus dos colas, una de ellas azul, lo hicieron especialmente atractivo. En él se detectaron, además de los componentes habituales, sodio, deuterio y diferente material orgánico. Este cometa volverá dentro de unos 2.380 años.

Los cometas han tenido mucha repercusión en la historia de la observación celeste, pues desde la Antigüedad, estos objetos se han considerado como presagios de acontecimientos excepcionales. Se relata que el paso de un cometa en el 44 a. C., poco después de la muerte de Julio César, fue tomado por algunos como morada de su alma. Asimismo, el tapiz de Bayeux que relata la conquista de Inglaterra por los normandos y conmemora la batalla de Hastings (1066), incorpora un cometa como símbolo asociado al suceso; se trata del cometa Halley, que pasó en 1074, un año después de

iniciado el bordado de la pieza. También es conocida la influencia de un cometa en 1517, observado por el emperador mexica Moctezuma, en la fácil victoria de Hernán Cortés y su entrada triunfal en Tenochtitlan dos años después.

Pero el mito cometario que ha tenido más influencia en la cultura occidental es sin duda el que lo relaciona con la estrella de Belén. El origen de esta asociación proviene de la pintura de Giotto *Adoración de los Reyes Magos* de 1304, en la que incorpora el paso del cometa Halley en 1301, identificándolo con la estrella. Esta idea, que aunque parece que ya existía tradicionalmente entre las gentes, se transmitió y ha llegado hasta nuestros días. Así que parece adecuado intentar concretar ahora lo que se conoce hoy en día acerca de este asunto. En primer lugar, sabemos que no pudo ser el cometa Halley, puesto que en aquella época fue visible en el firmamento en el año 11 d. C. Como bien sabemos, la fecha del nacimiento de Jesús es un tema todavía controvertido y sin resolver; bien es cierto que debió de ocurrir antes del año 4 a. C., pues es de entonces de cuando está recogida documentalmente la muerte de Herodes I el Grande, gobernador de Judea y uno de los protagonistas en la historia de los reyes magos. Y como también es sabido, el emperador Augusto ordenó que entre los años 8 y 6 a. C. se hiciera un censo de la población del Imperio, que probablemente es el motivo que obliga a María y José a desplazarse a Belén, tal y como relatan las Sagradas Escrituras. El error temporal que observamos en las fechas que narran acontecimientos cercanos al nacimiento de Jesús y que los datan varios años antes proviene del astrónomo Dionisio el Exiguo, al que el papa Juan I encargó, en el año 525, preparar un calendario en el que el nacimiento de Jesús marcase el comienzo de la era cristiana. Dionisio, que lo diseñó a partir de los reinados de los emperadores romanos, olvidó incorporar los 4 años que César Augusto había mandado con el nombre de Octavio, así como el año cero, puesto que ese número no fue introducido en Europa hasta entrado el primer milenio, transmitido por los árabes. Así que el nacimiento de Jesús quedaría enclavado entre el 5 y el 6 a. C., por lo que es preciso analizar los acontecimientos astronómicos ocurridos en fechas anteriores pero cercanas, que indujeran a tres sacerdotes zoroástricos procedentes de Persia, estudiosos de la astrología, a realizar el largo viaje –de unos mil kilómetros– desde sus tierras hasta Judea.

En 1304, el artista italiano Giotto como fondo de su obra Adoración de los Reyes Magos recrea la estrella de Belén identificándola con el cometa Halley que pasó por las cercanías de la Tierra en 1301.

En el año 7 a. C. se produjo una triple conjunción de los planetas Júpiter y Saturno en los meses de mayo, septiembre y diciembre, algo muy poco habitual, lo que pudo inducir a los tres astrólogos a suponer que algún importante acontecimiento estaba por llegar; en el año 6 a. C. tiene lugar un posicionamiento planetario entre Marte, Júpiter y Saturno en la constelación de Piscis –habitualmente asociada al mundo judío–, lo que les podría haber inducido a considerar que el evento se produciría en esas tierras; y por último, se tienen noticias, documentadas por astrónomos chinos, de la aparición de una estrella nova en el firmamento en el año 5 a. C., suceso que por lo extraño, pudo ser definitivo a la hora de animar a los tres *Reyes* a iniciar su viaje hacia Judea. El resto es conocido; al llegar allí, lo dicen las Sagradas Escrituras, se dirigen a entrevistarse con la máxima autoridad, el gobernador Herodes, que es quien podía tener información acerca del *magno acontecimiento* –fuera cual fuese–, y son sus sacerdotes quienes, recabando información de los textos bíblicos, hallan que en el libro del profeta Miqueas, escrito entre el 735 y 700 a. C. se dice: «Y tú, Belén, tierra de Judá, no eres ni mucho menos la última de las ciudades de Judá; pues de ti saldrá un jefe que será pastor de mi pueblo, Israel». Y con esta información parten hacia Belén. Por ello, en la

actualidad, los estudiosos del tema no consideran que hubiera una estrella que los guiase, sino una serie de acontecimientos astronómicos muy poco corrientes que los orientaron en sus decisiones y les impulsaron a realizar su peregrinaje.

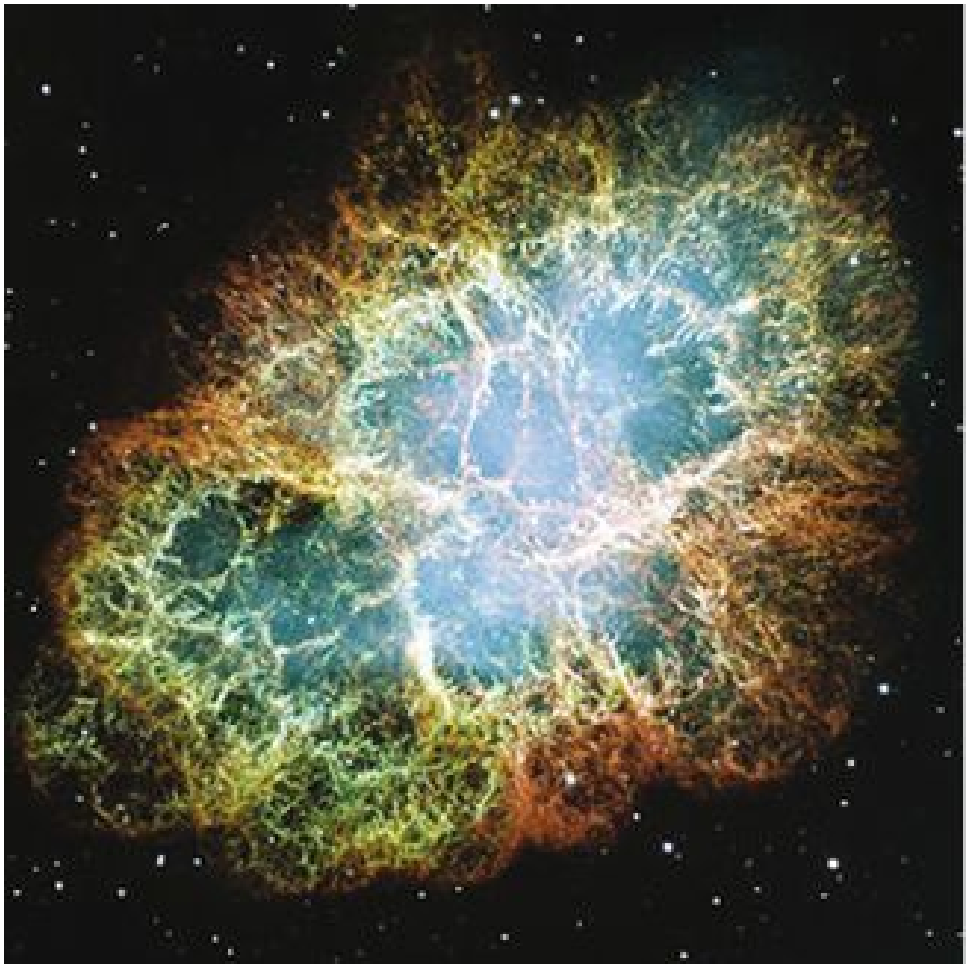
Catalogando las estrellas

Una vez que los telescopios fueron perfeccionándose, los científicos descubrieron más y más cuerpos celestes en su intento de desentrañar los misterios del cosmos. Pero, como se sabe, la simple enumeración de objetos no tiene ningún valor, pues ni ayuda a su análisis, ni sirve para su estudio; es preciso ordenarlos, catalogarlos.

Fue Charles Messier (1730-1817) el astrónomo francés, quien nos legó el primer catálogo de objetos del espacio profundo, el Catálogo Messier, publicado con varios suplementos entre 1774 y 1781, que contenía ciento tres de estos entre nebulosas, cúmulos estelares y galaxias, descubiertos por él o referenciados por otros astrónomos; posteriormente, los investigadores ampliaron la lista hasta ciento diez. Hoy en día, todavía se utiliza para designar a algunos de ellos.

Su orientación profesional como astrónomo le vino por su vinculación como escribiente desde los veinte años en el Observatorio de París. Allí estudió astronomía con su director, Joseph Nicholas de l'lsle, y pronto se convirtió en su ayudante y se especializó en la detección de cometas, actividad que por entonces era de mucha actualidad por los estudios del astrónomo Halley, como hemos comentado antes. Precisamente fue Messier quien avistó el cometa Halley a su vuelta por las cercanías terrestres en 1759.

Curiosamente, las observaciones de Messier de los objetos fijos del espacio profundo surgieron en su intento de descubrir mejor los cometas errantes, pues así podría distinguirlos fácilmente de ellos. Es así como en 1758 contempla el que sería primer objeto de su catálogo, el M1, que hoy conocemos como la nebulosa del Cangrejo, y que es el resto de la explosión de una supernova.



Objeto M1 del Catálogo Messier, la nebulosa del Cangrejo, situada a unos seis mil trescientos años luz en la constelación de Tauro, formada por la explosión de una estrella en forma de supernova en 1054, que fue visible a simple vista en la bóveda celeste durante veintidós meses.

Posteriormente, en 1764, Messier, observando la constelación de Andrómeda, advierte que la pequeña nube que referenció el astrónomo persa Azophi, del que ya hablamos anteriormente, en realidad parece ser una nebulosa, que denomina M31, y que en 1925 Edwin Hubble redefine como la galaxia de Andrómeda. Hasta ese momento, casi todos los objetos incluidos en la lista eran cúmulos de estrellas. En el mismo año incluye en su lista el objeto M33, la galaxia del Triángulo.

En 1769 incorpora a su catálogo el objeto M45, en la constelación de Tauro; se trata de Las Pléyades, un grupo de estrellas jóvenes (de unos cien millones de años) situadas a unos cuatrocientos cincuenta años luz de la Tierra. Este grupo estelar era conocido desde la Antigüedad, pues se encuentra descrito tanto en el *Mahábharata*, como en la *Odisea* y la *Ilíada*, y en la Biblia. Los calendarios maya e inca las tomaban como referencia de su ciclo anual.

Las nebulosas más importantes que agrega son la del Águila (M16), la Trífida (M20), la de Orión (M42), y la del Anillo (M57).

Desde el objeto M81 en adelante, referencia casi en su totalidad galaxias, algunas de las cuales tienen nombre propio, como la galaxia del Cigarro, la galaxia del Molinete, o la galaxia del Sombrero, todas ellas relacionadas con su forma apreciada.

Otro de los grandes descubridores de objetos estelares fue un contemporáneo de Messier, el astrónomo alemán William Herschel (1738-1822), que empezó estudiando música influido por sus

padres y se incorporó a la banda del Regimiento de Guardias de Infantería y participó en la guerra de los Siete Años (1756-1763), tras la cual decidió establecerse en Inglaterra. Allí se convirtió en profesor de música, primero, y más tarde en director de orquesta en Bath.

Casualmente, en 1773 compró un libro, *Astronomía*, del escocés James Ferguson, y tras leerlo descubrió su indiscutible inclinación por esta ciencia. A partir de entonces se entusiasmó tanto que comenzó a diseñar sus propios telescopios reflectores preparando los más esmerados espejos de la época. Comenzó sus observaciones con las estrellas binarias y descubrió que se mueven alrededor de un centro común, con lo que comprobó el cumplimiento de la ley de la gravitación fuera del sistema solar y catalogó más de mil de ellas. En 1781 apuntó su nuevo telescopio de 152 milímetros de apertura a la constelación de Géminis y observó un nuevo objeto que parecía un cometa o incluso una estrella desconocida, pero al comprobar su movimiento durante varios días presentó a la comunidad científica el que sería el séptimo planeta del sistema solar: Urano. Parece ser que muchos astrónomos lo habían observado con anterioridad, incluido Galileo, pero lo confundieron con una de las estrellas, como inicialmente le pareció a Herschel.

Como curiosidad, cabe señalar que originalmente el astrónomo bautizó al planeta como Georgium Sidus ('Astro de Jorge'), en honor al rey Jorge III de Inglaterra, nombre que mantuvo hasta bien entrado el siglo XIX. Fue el también astrónomo Johann Elert Bode quien insistió en que debía mantenerse la tradición de asignarle un nombre mitológico, y que este debería ser en realidad Urano para mantener el orden genealógico, nieto (Júpiter), padre (Saturno) y abuelo. Hasta la edición del *Almanaque náutico* de 1850 el nombre de Urano no se asoció al planeta definitivamente.

Herschel entró a formar parte de la Royal Society, y a partir de entonces se dedicó totalmente a la astronomía; fue nombrado astrónomo real en 1782. Ayudado por su hermana Caroline, que también había sido absorbida por esta pasión, y empleando del Catálogo Messier y los más potentes telescopios del momento, estudió el espacio profundo y observó muchos más objetos que los detectados hasta entonces. De hecho, en 1786 publicó su propio catálogo en el que incluyó más de mil objetos nuevos, y en los siguientes cinco años fue capaz de descubrir unos mil quinientos cuerpos celestes más.

En 1787, Herschel descubrió dos de las lunas de Urano, Titania y Oberón. En 1789 llegó a construir un telescopio muy potente cuya apertura era de 1,2 metros, y al apuntarlo al espacio observó dos lunas más en Saturno, Encelado y Mimas. Durante casi cincuenta años este fue el mayor telescopio del mundo. Desde España se requirieron sus servicios, y preparó un telescopio reflector para el Real Observatorio de Madrid, que fue destruido en 1808 por las tropas de Napoleón, aunque hoy en día ha sido reconstruido tal como lo preparó Herschel.

Otro de los importantes descubrimientos de Herschel fue que el Sol no está quieto en el firmamento, sino que se mueve arrastrando a la Tierra y al resto del sistema solar en dirección a la constelación de Hércules. A partir de la distribución de las estrellas en nuestra galaxia –que estimó en unos cien millones– diseñó un modelo en forma de disco abultado por el centro para la Vía Láctea, muy cercano al actual. También descubrió nuevos objetos, como cúmulos estelares, estrellas variables y estrellas dobles, además de concretar que las nebulosas contienen estrellas, y documentó el paso de los cometas de 1807 y 1811.

Fuera del campo astronómico, Herschel analizó la naturaleza de la luz y su relación con el calor, lo que le condujo en 1800 al descubrimiento de los rayos infrarrojos, a los que inicialmente denominó *rayos caloríficos*. Era la primera vez que se detectaba luz invisible al ojo humano. En su honor, el laboratorio espacial lanzado por la ESA (Agencia Espacial Europea) en 2009 para estudiar el universo en infrarrojos lleva su nombre.

Los trabajos de este investigador tuvieron continuidad en su hijo John Herschel (1792-1871), matemático y astrónomo, cuyas capacidades como matemático destacaron tanto que por su primera publicación fue elegido miembro de la Royal Society en 1813, y con veinticuatro años tomó el relevo a su padre y construyó su primer telescopio reflector, con el que empezó a realizar observaciones estelares. Participó activamente en la fundación, en 1820, de la Royal Astronomical Society, y en 1824 publicó su primer trabajo importante en este campo, un catálogo de estrellas binarias, con el que continuó la labor de su progenitor.

Con el fin de completar el registro de los cielos realizado por su padre, John Herschel emprendió en 1833 un viaje por Sudáfrica con el propósito de hacer un trabajo semejante con los objetos estelares del hemisferio sur. Allí documentó las ubicaciones de casi 69.000 estrellas y acumuló amplios catálogos de nebulosas y estrellas binarias. Describió con mucho detalle la nebulosa de Orión, así como las Nubes de Magallanes –en realidad dos galaxias– y la vuelta del cometa Halley en 1835. Volvió a Inglaterra tres años después, analizó todos sus descubrimientos y los publicó en 1847 en la obra *Resultados de observaciones astronómicas hechas en el cabo de Buena Esperanza*, en la que introducía por vez primera los nombres que hoy conocemos para los satélites de Saturno por entonces descubiertos: Mimas, Encelado, Tetis, Dione, Rea, Titán y Japeto. También es responsable de los nombres de los satélites de Urano documentados en la época: Ariel, Umbriel, Titania y Oberón.

Asimismo, John Herschel destacó como químico, y sus descubrimientos permitieron conseguir la fijación fotográfica y la fotografía en papel sensible. Su último cargo público fue el de maestro de la Casa de la Moneda.

Las aportaciones de datos estelares de padre e hijo fueron la base del New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars (Nuevo Catálogo General de Nebulosas y Cúmulos de Estrellas), más conocido como NGC, que hoy en día se sigue utilizando. Este catálogo, que contiene 7.840 objetos, fue compilado por el astrónomo danés Johan Ludvig Emil Dreyer (1852-1926) y publicado en 1888, que utilizó, como hemos dicho, las observaciones de Herschel y las suyas propias; posteriormente, se fue añadiendo en anexos otros 5.386 objetos más. En este catálogo los cuerpos son numerados, se indica el tipo estelar al que corresponden, su localización (constelación, ascensión recta y declinación) y su magnitud aparente.

Las matemáticas dinamizan los cuerpos celestes

A finales del siglo XVII, Newton había establecido las bases físico-matemáticas del movimiento de los cuerpos, tal y como hemos visto en el capítulo anterior. Pero aun así, las matemáticas de la época eran todavía limitadas; por ejemplo, la mecánica celeste empleaba todavía la geometría de las figuras para su expresión, lo cual obstaculizaba su desarrollo. Era preciso dar otro salto cualitativo con la introducción de ecuaciones a través del análisis matemático para resolver problemas de cálculo más complejos, como las interacciones entre más de dos cuerpos y las perturbaciones que en sus movimientos producían estas.

Estamos entrando en la época en que la astronomía avanza rápidamente de la mano de sus dos pilares, la vertiente experimental, basada en los progresos en la observación merced a los nuevos telescopios, y la teórica, con un marcado carácter matemático. Comenzaba a fraguarse la estrecha vinculación entre la ciencia y las matemáticas que hoy en día es la base del desarrollo de las ciencias experimentales.

En este marco podemos empezar destacando la figura del alemán Gottfried von Leibniz (1646-1716), cuyas aportaciones más descollantes están en el campo del cálculo diferencial y en la notación binaria. El primero permite el establecimiento de modelos físicos comprobables experimentalmente, lo que supone la consolidación del método científico, y el segundo constituye la base del lenguaje de nuestros ordenadores actuales.

Otro de los grandes matemáticos de la época fue el suizo Leonhard Euler (1707-1783), considerado uno de los más prolíficos de todos los tiempos. Trabajó en las áreas de geometría, trigonometría, álgebra y cálculo, y destacó en todas ellas. En cálculo mejoró las herramientas de Leibniz y las aplicó al movimiento de los cuerpos celestes, en particular al de la Luna.

Pero entre los más notorios en cálculos matemático-astronómicos podemos mencionar a dos grandes matemáticos: Lagrange y Laplace.

El italiano de nacimiento pero de ascendencia francesa Joseph Louis de Lagrange (1736-1813) también fue un eminente físico y astrónomo. Ya con diecinueve años propuso un nuevo método matemático que se conoce como *cálculo de variaciones,* que hoy todavía se utiliza. En 1766 se instaló en Berlín como matemático de la corte del rey prusiano Federico II el Grande, puesto que ocupó durante veinte años, y allí fue donde escribió su obra monumental *Mécanique analytique*.

A la muerte de Federico II en 1786, Lagrange se instaló en París por invitación del rey Luis XVI, donde siguió con sus trabajos y llegó a ocupar la presidencia de la comisión para la reforma de pesos y medidas. Finalmente, en 1794 fue nombrado profesor de la École Polytechnique. Sus aportaciones al álgebra, a la mecánica analítica –que lleva el sobrenombre de mecánica lagrangiana–, a las ecuaciones diferenciales (*multiplicadores de Lagrange*) e incluso a lo que se denomina *matemática pura* son de un valor incuestionable y supusieron un avance cualitativo para las ciencias exactas.

Pero sus aportaciones matemáticas al campo astronómico no fueron menos trascendentales. Mediante la técnica matemática denominada *trabajo virtual*, estudió el movimiento lunar comprobando que aunque la cara que se observa desde la Tierra es siempre la misma, existe un movimiento de oscilación del satélite que permite ver más del cincuenta por ciento de su superficie, fenómeno que se denomina *libración lunar*.

En 1772, Lagrange abordó un trabajo que consistió en intentar resolver el denominado *problema de los Tres Cuerpos,* referido a la dinámica de tres objetos celestes sujetos a sus interacciones mutuas. Este fenómeno es harto complejo, pero restringido a órbitas cuasicirculares y cuando la masa del tercer objeto es muy pequeña comparada con la de los otros dos, pudo ser resuelto por Lagrange. De hecho, además encontró que existen cinco posiciones –llamadas *puntos de Lagrange*– entre los dos objetos celestes mayores, que permiten que cualquier objeto situado en ellas permanezca en una posición fija –estacionaria– respecto de ambos. La comprobación experimental tendría lugar en 1906, cuando el astrónomo alemán Max Wolf descubriera un asteroide situado en la órbita de Júpiter precisamente en uno de los *puntos de Lagrange*, que bautizó como *asteroide troyano*. En la actualidad se conocen más de dos mil seiscientos asteroides de este tipo pertenecientes a Júpiter. En 1990 se descubrió un troyano en un planeta distinto; fue en Marte. La Tierra también tiene su troyano, es el 2010TK7, descubierto por el telescopio espacial WISE (Wide-Field Infrared Survey Explorer). Existen dos teorías principales para explicar la formación de estos objetos, una de ellas insiste en que fueron restos de polvo que no llegaron a agregarse al planeta durante su formación y la otra asevera que pudieron ser capturados durante su tránsito por el espacio interestelar.

Asimismo, otros de los estudios de Lagrange versaron sobre la estabilidad de las órbitas planetarias, los elementos orbitales de los planetas, que son seis magnitudes que permiten definir con exactitud su órbita alrededor del Sol, y la ecuación secular de la Luna, que describe su movimiento alrededor de nuestro planeta perturbado por el efecto gravitacional del Sol.

Como dijimos antes, el otro gran matemático-astrónomo de este siglo fue el francés Pierre Simon Laplace (1749-1827). Nacido de familia de granjeros, estudió en la Universidad de Caen. Su gran maestría matemática le permitió, a la temprana edad de dieciocho años, ocupar el puesto de profesor de Matemáticas en la Escuela Militar de París, donde como curiosidad cabe señalar que uno de sus alumnos fue Napoleón. Sus éxitos en el campo de la matemática y de la astronomía le llevaron a ser nombrado primero, en 1785, miembro de la Academia de Ciencia, y luego, en 1812, presidente del Nuevo Instituto de las Ciencias y las Artes.

Sus trabajos le llevan a desarrollar una herramienta –operador– denominada *transformada de Laplace*, que revela el concepto integral como forma de expresión de las ecuaciones diferenciales, haciéndolas fácilmente resolubles mediante su transformación en ecuaciones algebraicas. Hoy en día siguen aplicándose estos instrumentos matemáticos en muchas ramas del saber, pero sobre todo en física e ingeniería, especialmente en cálculos relacionados con movimientos vibratorios, circuitos eléctricos y servosistemas.

En relación con el estudio del cosmos publica en 1796 su libro *Exposition du système du monde* (*Exposición del sistema del mundo*), en donde propone su teoría acerca de la formación del sistema solar. Laplace supone que las nebulosas de polvo y gas constituyeron los gérmenes de los sistemas planetarios, y pudieron colapsar gravitacionalmente contrayéndose y formando así el Sol, y de la condensación y el enfriamiento del material restante se pudieron generar los planetas que por ese motivo orbitan en torno a él en el mismo plano y sentido de giro todos ellos. Esta hipótesis nebular –sugerida en su origen por el filósofo Immanuel Kant en 1755– es la que en líneas generales se mantiene hoy en día como explicación válida para la formación de los conjuntos estelares.

Sus investigaciones acerca de la probabilidad vinculada con la estadística le llevan a sentar sus bases científicas en sendas publicaciones: *Teoría analítica de las probabilidades* (1812), donde incorpora el esencial *método de los mínimos cuadrados,* descubierto por Adrien-Marie Legendre en 1805, y *Ensayo filosófico sobre la probabilidad* (1814). En este último señala: «Se ve por este ensayo que la teoría de las probabilidades, en el fondo, no es otra cosa que el buen sentido reducido a cálculo; veremos que no hay ciencia más digna de nuestras reflexiones y cuyos resultados sean más útiles».

Y no le faltaba razón porque, como conocemos actualmente, el cálculo de probabilidades que había comenzado ligado a los juegos de azar se aplica hoy en todas las ramas de la ciencia, y su influencia se destaca en múltiples aspectos de la vida.

Empleó los registros de observaciones astronómicas tratándolos estadísticamente y los combinó con el análisis de probabilidades para inferir resultados, y de esa manera conseguir fundamentar matemáticamente la descripción de las órbitas de los planetas y su movimiento de rotación, así como la influencia que ejercían los satélites sobre ellos.

Como consecuencia, escribió su obra cumbre, publicada en cinco volúmenes entre 1799 y 1825, denominada *Traité de mécanique céleste* (*Tratado de mecánica celeste*), que pretende ser un compendio de los conocimientos astronómicos de la época y que incorporaba trabajos dispersos de Newton, Halley, D'Alembert, Euler, etc., junto con sus propias aportaciones. En ella intentaba, además, dar explicación a algunos de los comportamientos celestes no resueltos de manera concluyente por Newton: los movimientos anómalos de Júpiter, Saturno y la Luna. Se observaba que los dos primeros sufrían continuamente uno aceleración y el otro frenado, que iban aumentando y contrayendo, respectivamente, sus órbitas, lo que con el tiempo produciría sin duda el escape de Júpiter del sistema solar y la caída de Saturno sobre el Sol. Laplace demostró, mediante cálculos muy detallados, que esa no era la situación real, sino que más bien se trataba de movimientos periódicos, repetidos cada novecientos veintinueve años, y que para nada influían en la estabilidad de nuestra familia planetaria. Asimismo, la Luna también presentaba una anomalía en su movimiento que la hacía desacelerarse y anunciaba su posible caída sobre la Tierra, situación resuelta por el sabio francés al emplear cálculos similares a los ya utilizados con los planetas exteriores.

Las contribuciones de Laplace al campo de la física y de la química fueron también muy variadas e importantes, suyo es el concepto de potencial, las dos leyes fundamentales del electromagnetismo, un estudio más complejo del movimiento de proyectiles, el concepto de tensión superficial en los líquidos y las primeras medidas calorimétricas de las reacciones químicas y de los calores específicos de los cuerpos, que fueron el origen de la rama científica hoy conocida como termodinámica.

Este importante científico que llegó a ser llamado *el Newton francés* consideró sus aportaciones en el campo matemático como meros instrumentos aplicables a otras ramas de la ciencia, con el fin de que ayudasen a resolver las incógnitas de la mecánica celeste y variados problemas físicos, y que asimismo fueran elementos útiles para la sociedad.

Otro gran matemático reconvertido en astrónomo fue el alemán Friedrich Bessel (1784-1846), de familia humilde, que pronto destacó por sus habilidades matemáticas, aunque su interés derivó

hacia la geografía y los problemas de orientación asociados siempre a la navegación. De sus observaciones celestes a concentrar su interés por la astronomía solo había un paso, y lo dio. En 1804 calculó con mucha precisión la órbita del cometa Halley, lo que impresionó a otro astrónomo de la época experto en cometas, Heinrich Olbers, quien lo animó a emplear sus cualidades en el estudio y la observación del cosmos, y al año siguiente le apoyó para conseguir un puesto en el Observatorio Lilienthal (Bremen). Allí catalogó con precisión la posición de más de tres mil estrellas, lo que le valió para ser propuesto como director del observatorio astronómico de Königsberg (Prusia) en 1809, puesto que desempeñó el resto de su vida.

En 1824, como método de análisis matemático, generalizó la aplicación de las herramientas denominadas *funciones de Bessel*, definidas inicialmente por el matemático Daniel Bernouilli y las empleó en mecánica gravitatoria para estudiar las perturbaciones planetarias ejercidas por varios cuerpos entre sí. Estas funciones también se utilizan para resolver, entre otros, problemas relacionados con la propagación de ondas electromagnéticas y el calor, con el movimiento ondulatorio, la elasticidad y la hidrodinámica.

En 1836 se propuso medir la distancia de las estrellas y empezó por la denominada 61 Cygni, que consideraba la más cercana, puesto que era la que tenía mayor movimiento propio a ojos de un observador terrestre. Para ello se sirvió de un heliómetro –telescopio de doble objetivo–, con el que pudo medir su paralaje tras casi año y medio de observaciones, en 1838, y con el que estimó su distancia a la Tierra en 10,3 años luz, que actualmente se ha precisado en 11,3 años luz. Fue la primera vez que se conseguía una evaluación de este tipo.

Mediante un sistema de referencia que diseñó, fue capaz de medir las posiciones de alrededor de 75.000 estrellas e incluso la evolución de la ubicación de treinta y ocho de ellas en la bóveda estelar durante más de cien años.

Utilizando cálculos precisos, anunció en 1841 que la estrella Sirio debía estar acompañada de otra menor, denominada Sirio B, que fue descubierta unos años después, en 1862.

El último de los grandes matemáticos de la época, cuya dedicación a la astronomía fue también notable, sin duda fue el alemán Carl Friedrich Gauss (1777-1855), llamado póstumamente *el Príncipe de los matemáticos,* tal y como aparece grabado en la moneda que ordenó acuñar en su memoria el rey Jorge V de Hannover. De familia muy humilde, fue un verdadero niño prodigio que destacó desde pequeño por su facilidad para la aritmética, hasta tal punto que llegó a oídos de Karl Wilhelm Ferdinand, duque de Brunswick, quien le concedió una beca para que pudiera realizar y completar su formación en ciencias exactas.

Su primera obra trascendente es este campo fue *Disquisitiones arithmeticae* (1801), en donde introducía la *teoría de los números*, con la que conseguía dar una estructura normalizada a esta rama científica. El mismo Gauss afirmaba: «La matemática es la reina de las ciencias, y la teoría de números es la reina de la matemática».

Profundizó en la teoría de la probabilidad propuesta por Abraham de Moivre en 1733, particularmente en lo que se denomina distribución normal de la probabilidad, a fin de calcular los errores que se cometen en las observaciones estadísticas de la naturaleza, y llegó a delimitar una zona

donde existe la mayor posibilidad de encontrar un determinado resultado. Así, sostenía que los errores de medición tienden a concentrarse dentro de un área muy cercana al verdadero valor de la medida del objeto estudiado, área con forma acampanada que hoy conocemos como campana de Gauss.

En 1801 los astrónomos le presentaron un problema: habían observado el movimiento de un objeto situado entre Marte y Júpiter, que suponían un cometa, y que tras su ocultación por el Sol no aparecía en el lugar que la órbita calculada predecía. Gauss recopiló la información estadística de los registros de las observaciones astronómicas existentes sobre el objeto y aplicó el cálculo de la probabilidad considerando una distribución normal para sus posiciones, lo que le permitió estimar la ubicación más probable en la que deberían buscarlo, y así ocurrió; diez meses más tarde de su desaparición, el objeto aparecía justo donde había calculado Gauss. Su método había triunfado para predecir el movimiento de este cuerpo que, lejos de ser un cometa, era uno de los asteroides –Ceres– de lo que hoy conocemos como *cinturón de asteroides* existente entre Marte y Júpiter.

Esta aplicación de la distribución normal animó a Gauss a emplearla en otros complejos problemas, como resultado de los que publicó su obra *Theoria combinationis observationum erroribus minimis obnoxiae* (1821), en donde introduce conceptos como *margen de error* e *intervalos de confianza,* muy útiles en el campo de la medición, pues permiten acotar los errores derivados de ella. Se le considera el padre de la moderna *teoría de errores*.

En 1809 fue nombrado director del Observatorio de Gottingën y publicó la obra *Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis Solem ambientium* (*Teoría del movimiento de los cuerpos celestes que giran alrededor del Sol siguiendo secciones cónicas*).

Posteriormente, entre 1820 y 1830, dedicó sus esfuerzos a la geodesia –que estudia la forma, superficie y tamaño de la Tierra– lo que le sirvió para proponer una teoría de las superficies curvas, que constituyó su gran aportación a la Geometría diferencial.

El magnetismo terrestre acaparó su interés por unos años, y como consecuencia de sus observaciones publicó el libro *Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata* (1832), y construyó el primer telégrafo electromagnético, con lo que se adelantó siete años al diseñado por Morse.

Los trabajos de Gauss proporcionaron a las matemáticas una base sólida y coherente pues, además de todo lo anteriormente comentado, les legó otras aportaciones fundamentales relativas al análisis matemático, al álgebra y a la geometría no euclídea.

Como hemos comentado, durante el siglo XVIII y buena parte del XIX, son los matemáticos los que realizan las mayores aportaciones al campo de la astronomía, pues son ellos quienes la impregnan de formalismo científico al darle el apoyo teórico incuestionable que siempre necesitó. El espectacular desarrollo de las ciencias exactas permite realizar cálculos precisos, modificar teorías, alejarse de la especulación, predecir acontecimientos, concretar errores y, sobre todo, tamizar las observaciones por medio de herramientas que poco a poco permiten obtener datos fidedignos, comprobables y reproducibles, necesarios para conseguir que dé el gran salto esta ciencia que empezó explicando el firmamento como resultado de la intención divina, y que en esta época ha llegado a obtener las

necesarias bases físico-matemáticas garantes últimas de la autenticidad de la estructura celeste propuesta, que abrirá las puertas de la ciencia al estudio apasionante de las profundidades del espacio que se producirá durante los siglos venideros.

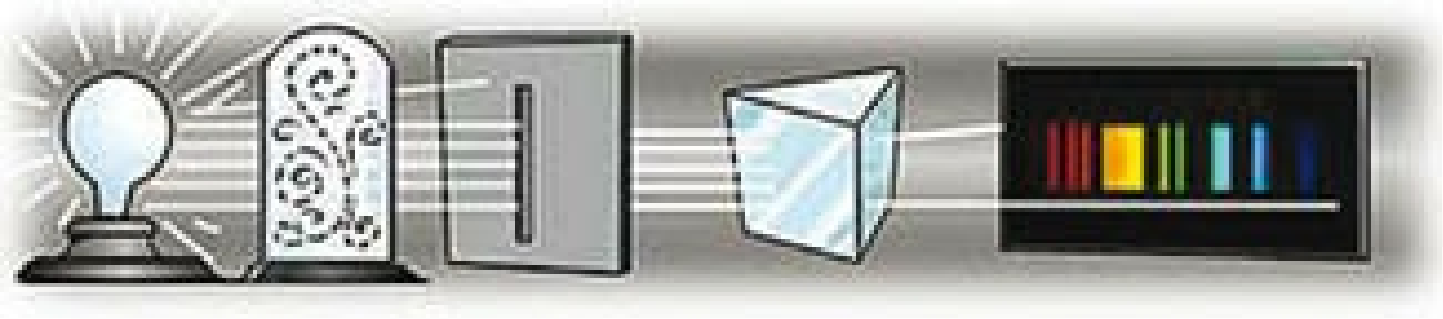
SURGEN NUEVAS TÉCNICAS INSTRUMENTALES

Y, al mismo tiempo que se desarrollaba teóricamente esta ciencia, iban produciéndose con bastante rapidez nuevos avances en los instrumentos y en las técnicas que permitían observar más y mejor el firmamento.

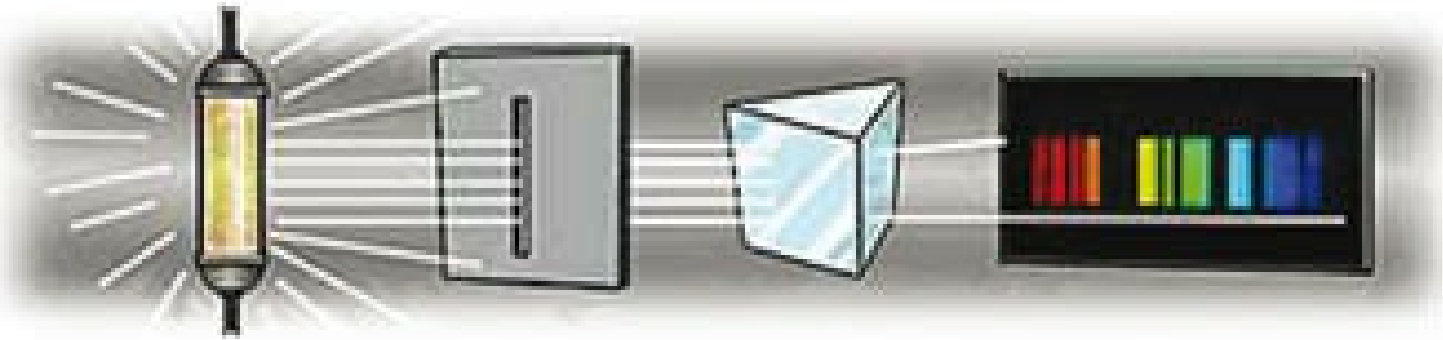
Una técnica nueva que provocó un salto cualitativo en la comprensión del cosmos fue la denominada *espectroscopia*. Todos hemos visto alguna vez la formación del arco iris en el horizonte y sabemos que los colores que muestra en conjunto forman la luz solar, que es un tipo de radiación formada por ondas electromagnéticas. Cada uno de los colores se identifica por una propiedad de las ondas que se denomina *frecuencia* (o por su inverso, la *longitud de onda*) y que se asocia con la energía que transporta. El ojo humano sólo es sensible a las frecuencias de la luz blanca o solar, pero existen otras ondas cuyas frecuencias son mayores o menores que ellas. El conjunto de todas las ondas electromagnéticas se denomina *espectro electromagnético* y engloba los siguientes tipos en orden creciente de energías: microondas, luz infrarroja, luz visible, luz ultravioleta, rayos X y rayos gamma (γ).

Los átomos que forman la materia son capaces bien de emitir ondas electromagnéticas o de absorber parte de ellas cuando son estimuladas con radiación. Al ser recogidas estas ondas de manera conveniente, forman un conjunto de líneas relacionadas con sus frecuencias, que integran lo que se denominan espectros de emisión o de absorción de los elementos que las producen, y que permiten a los científicos identificarlos como si hubieran obtenido su huella digital.

Partiendo de ello, el óptico y astrónomo alemán Joseph von Fraunhofer (1787-1826) sentó las bases de la técnica espectroscópica. Huérfano a los once años, por una serie de acontecimientos fortuitos comenzó a trabajar en el Instituto de Óptica de la abadía de Benediktbeuern (Baviera), donde sus cualidades le llevaron a dirigirlo en 1818. Anteriormente, en 1814 estudió las líneas oscuras de absorción lumínica observadas en el espectro del Sol por medio de un instrumento que preparó, el espectroscopio, al que dotó de una retícula –red de difracción– en lugar de un prisma, lo que le permitió afinar más en las líneas del espectro resultante. La ausencia de algunas líneas de colores era debida a la existencia de átomos de elementos químicos interpuestos entre la fuente de irradiación, el Sol, y el espectroscopio. También se percató de que los espectros de la estrella Sirio y de otras analizadas con esta técnica eran diferentes al del Sol, por lo que concluyó que todos los astros no tenían la misma composición.



Espectroscopia de absorción. Técnica por la que se bombardea una sustancia mediante radiación electromagnética de manera que es capaz de absorber parte de ella dejando pasar el resto por una rendija que la concentra, para que luego se descomponga por medio de un prisma y se recoja en una película fotográfica que muestra las frecuencias lumínicas absorbidas por los átomos existentes en la muestra en forma de líneas negras donde antes estaban coloreadas.



Espectroscopia de emisión. Técnica por la que se estimula una sustancia provocando que emita radiación en forma de ondas electromagnéticas que primero se hacen pasar por una rendija que las concentra, para luego descomponerse por medio de un prisma y ser recogidas en una película fotográfica que muestra las frecuencias energéticas de los átomos existentes en la muestra en forma de franjas de colores.

Posteriormente, en 1859, el físico prusiano Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) fue quien asoció las líneas espectrales a las sustancias químicas, aseverando que para un átomo o molécula dados, la emisión y absorción de frecuencias son las mismas. En 1861 identificó una de las líneas del espectro solar obtenidas por Fraunhofer como perteneciente al elemento sodio. Asimismo, descubrió que en el astro rey también estaban presentes otros elementos como calcio, cinc y cobre.

La técnica y su utilización comenzaban a caminar, y los espectroscopistas analizaban el firmamento. Uno de los más importantes pioneros fue el sueco Anders Jonas Angström (1814-1874). Estudió Física en la Universidad de Upsala, donde, tras graduarse, fue profesor. También trabajó en los observatorios de Upsala y Estocolmo. En relación con la espectroscopia, teoriza en 1855 que un gas incandescente es capaz de emitir rayos luminosos con la misma frecuencia que los que puede absorber, lo que constituye la base de esta técnica de análisis, y que confirma Kirchoff, como hemos dicho más arriba, cuatro años después. Su aportación principal en el análisis espectral astronómico consistió en incorporar la fotografía al espectroscopio. Al estudiar así en 1862 el espectro de la atmósfera solar descubre que contiene hidrógeno, y en 1868 publica el libro *Recherches sur le spectre solaire,* donde incorpora un gran mapa espectral del astro rey en el que utiliza como unidad la diezmillonésima parte de un milímetro, que luego llevará su nombre, el angstrom (1 Å = 10^{-10} m). En 1867 estudió también el espectro de las auroras boreales.

Por último, no podemos dejar de mencionar entre estos científicos al inglés William Huggins (1824-1910), que comenzó como astrónomo aficionado y se construyó un observatorio con el dinero que obtuvo de la venta de su negocio familiar. Al tanto de los trabajos de Fraunhofer y Kirchoff instaló un espectroscopio a su telescopio y enfocó el firmamento con el fin de emplear esta técnica para estudiar las estrellas y las nebulosas. En 1864 publicó sus primeras observaciones, en las que clasificó las nebulosas en dos clases, unas que contienen sólo gas –la de Orión es una de ellas– y otras que contienen grandes agregados de estrellas, que con el tiempo se denominarán galaxias; la de Andrómeda pertenece a este grupo.

A Huggins se le considera uno de los padres de la astrofísica, que estudia mediante técnicas de análisis (espectroscopia, fotometría, astrofotografía, etc.) la constitución química de las estrellas, sus propiedades físicas (dimensiones, masa, luminosidad, temperatura, evolución estelar, etc.) y las de otros cuerpos existentes en el cosmos.

Otra de las grandes contribuciones espectroscópicas a la astronomía fue la medida del denominado *efecto Doppler*, cuyo nombre deriva del físico austriaco Christian Doppler, quien lo descubrió en 1843, en las estrellas. Este efecto consiste en el desplazamiento que experimentan las líneas observadas del espectro lumínico hacia frecuencias más altas –hacia el azul– cuando el emisor de luz se acerca al observador, y hacia frecuencias más bajas –hacia el rojo–, cuando el emisor se aleja del observador. Es una situación similar a la de los diferentes sonidos que percibimos de la sirena de un vehículo cuando se acerca o se aleja de nosotros. Este desplazamiento es proporcional a la velocidad del foco emisor. Higgins, en 1868, empleó su espectroscopio para intentar medirlo, y encontró que la estrella Sirio se alejaba de nosotros a unos cuarenta y siete kilómetros por segundo, valor un poco mayor que el real.

La información que proporcionará la existencia del efecto Doppler en las estrellas llevará a los científicos a desarrollar uno de sus más importantes modelos cosmológicos, el de la *expansión del universo*, que comentaremos más detenidamente en el próximo capítulo.

También en esta época surgió como técnica revolucionaria la astronomía fotográfica. La fotografía arrancó eficazmente con las placas fotográficas preparadas por Louis Daguerre, que contenían yoduro de plata que al oscurecerse por la luz permitía retener imágenes, eran los *daguerrotipos*. Su eficacia en astronomía se limitaba sólo a los objetos más brillantes, el Sol y la Luna. El químico americano John William Draper, tras una exposición de veinte minutos, consiguió la fotografía más nítida de la Luna tomada hasta entonces. El inglés Frederick Archer comprobó que se necesitaba menor tiempo de exposición para obtener una buena fotografía al emplear una sustancia preparada por él llamada *colodión* (nitrato de celulosa disuelto en una mezcla de alcohol y éter), que extendía sobre una placa de vidrio a la que se superponía el yoduro de plata. El astrónomo británico Warren de la Rue obtuvo en 1852 buenas imágenes de la Luna con menos de medio minuto de exposición. En todo caso, esta sustancia sólo servía para exposiciones cortas.

Un avance cualitativo en esta técnica se logró cuando el químico británico Richard Leach Maddox decidió en 1871 utilizar gelatina seca en lugar de colodión. Usando este material, el astrónomo escocés David Gill observó el paso del cometa de 1882 fotografiándolo desde su telescopio. El resultado fue asombroso; además de una magnífica imagen del cometa, se pudo observar en la

fotografía la zona posterior del cielo que incluía miles de estrellas invisibles en la observación ocular. Una placa fotográfica incorporada a un telescopio y enfocada durante horas a una zona determinada del cielo revela imágenes de objetos cuya luz llega a la Tierra tan debilitada que nunca podrían ser vistas de otra forma. Este fue el comienzo de la Astrofotografía.

Imagen del cometa de 1882 obtenida por sir David Gill en el hemisferio sur, tomada en septiembre. El cometa se pudo observar a plena luz del día. La fotografía revela la imagen del firmamento, que sirve de fondo al paso del cometa, repleta de estrellas.

Por último, vamos a prestar atención a las aportaciones que en el estudio de las estrellas proporcionó a los científicos le técnica denominada *fotometría*. Este método se encarga de medir la luminosidad de los astros y de clasificarlos en diferentes magnitudes en función de su brillo. Ya en el siglo II a. C., Hiparco de Nicea había catalogado las estrellas por su resplandor aparente a la visión del ojo humano. Con la llegada del telescopio se ampliaron las posibilidades de percepción, se aumentó la cantidad de objetos visibles y se mejoró su categorización. Los primeros fotómetros preparados en 1890 eran los llamados *actinómetros*, que permitían medir la intensidad de la radiación solar empleando la dilatación que esta realizaba sobre una fina lámina de metal. Su empleo generalizado se produjo a partir de 1930, cuando se comenzó a aprovechar en su diseño el efecto fotoeléctrico por el que se transforma la luz en una señal eléctrica cuando esta incide sobre un material semiconductor. Los fotómetros se suelen colocar en el plano focal de los telescopios y así permiten medir la luz que llega de los astros.

Una primera clasificación relacionada con la luz que percibimos desde la Tierra de los objetos estelares fue la debida a Hiparco de Nicea, que los ordenó por magnitudes aparentes. Las estrellas

más brillantes eran las de primera magnitud, y así se disponían hasta llegar a la sexta. El brillo observado de una estrella disminuye con la distancia, por ello el astrónomo inglés Norman Pogson (1829-1891), al observar que las estrellas de primera magnitud eran aproximadamente cien veces más brillantes que las de sexta, es decir, se necesitaban cien estrellas de sexta magnitud para igualar el brillo de una de primera, propuso, a fin de cuantificar esta variación de magnitud, que cada diferencia en una de ellas lo haría en su brillo en función de una constante que fijó en 2,512. Actualmente se han descubierto estrellas de magnitudes aparentes mayores, es decir con brillo menor, y se han incluido otras con magnitudes negativas como el Sol (-26,8), la Luna llena (-12,6), Venus en su brillo máximo (-4,4), Marte en su brillo máximo (-2,8) o Sirio (-1,5).

Esta clasificación se complementa con la denominada *de tipo espectral*, iniciada por el astrónomo estadounidense Edward Charles Pickering (1846-1919), director del observatorio de Harvard, que analizó y sistematizó la colección de espectros realizada por el astrónomo aficionado Henry Draper durante casi doce años, y que contenía cerca de diez mil de ellos. El primer catálogo se publicó en 1890, y tras sucesivas ampliaciones ha llegado a incluir unos trescientos sesenta mil espectros estelares.

Esta clasificación asocia una secuencia de letras a los tipos de estrellas según su temperatura, color y luminosidad, que se pueden conocer a partir del espectro:

Clase	Temperatura (ºC)	Color	Luminosidad	Ejemplo
O	28.000-40.000	Azul	1.400.000	Cefeidas
B	10.000 - 28.000	Blanco azulado	20.000	Rigel
A	8.000 - 10.000	Blanco	80	Sirio
S	6.000 - 8.000	Blanco amarillento	6	Canopus
G	4.900 - 6.000	Amarillo	1,2	Alfa centauro
K	3.500 - 4.900	Amarillo anaranjado	0,4	Arturo
M	2.000 - 3.500	Rojo	0,04	Betelgeuse

Cada clase se divide en nueve tipos, del cero al nueve, siendo este último el más frío. Nuestro Sol es una estrella de tipo G2, y la luminosidad de las demás estrellas se relaciona con la suya, que se considera como unidad. Posteriormente se han añadido varios tipos más de clases estelares, como W, L, T, C, S.

¿QUÉ SABEMOS HASTA AHORA?: ESTRELLAS, PLANETAS, SETÉLITES, ASTEROIDES…

Estamos a punto de entrar en el siglo XX y, después de todos los avances comentados en este capítulo, es el momento de recopilar los conocimientos astronómicos existentes hasta la época, es decir, ¿qué evidencias certeras tenían la sociedad y los científicos en aquellos momentos de todo lo que nos rodea?

Veamos: ya se conocía que el sistema solar era un conjunto estable de cuerpos celestes cuyos movimientos se regían por la ley de la gravitación universal de Newton; el Sol era una estrella y constituía su centro, y los planetas Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno y Urano giraban en órbitas elípticas en torno a él. Laplace, tomando las ideas de Kant, había teorizado sobre su formación a partir de una nube primigenia de polvo y gas. Esta teoría comenzaba a tomar fuerza, pues los astrónomos empezaban a observar nebulosas similares distribuidas por el espacio interestelar, que contenían estrellas.

Se observaba que casi todos los planetas tenían cuerpos –denominados satélites– que giraban a su alrededor, algunos de los cuales se habían ya percibido, mientras que los restantes irían descubriéndose paulatinamente.

También se sabía que existían otros objetos que viajaban por el sistema solar, eran los cometas y los asteroides, estos últimos, en su mayor parte, provienen del cinturón que los contiene existente en las proximidades de Marte.

Fuera de nuestro entorno se había descubierto la existencia de miles y miles de estrellas. Muchas de ellas se agrupaban con el Sol y formaban un conjunto estable, nuestra galaxia, que denominamos *Vía Láctea*. Y el resto aparecen reunidas en agregados diseminados por el cosmos formando otras galaxias que entonces se denominaban *universos isla*. También se había descubierto la existencia de estrellas dobles o binarias, que evolucionaban juntas, y cúmulos estelares.

Y todos los cuerpos estelares parecían moverse en una danza acompasada y dinámica en la que todos participaban, desde los planetas con sus satélites hasta la propia Vía Láctea, que se desplazaba arrastrando a todos sus objetos integrantes por el espacio interestelar.

Ya se había procedido a medir la distancia a la que se encontraban algunas estrellas, y se conocía la de la más cercana, que era Alpha Centauri, cuyo alejamiento fue determinado en 1830 –aunque publicado en 1839– por el astrónomo Thomas Henderson, y que hoy sabemos que está situada a 4,3 años luz de nosotros. Advertíamos así que las estrellas nos informan sobre el pasado del universo.

La espectroscopia había permitido descubrir algunos de los elementos que componían las estrellas, principalmente hidrógeno y helio, y al mismo tiempo, constatar que no todas eran iguales, sino que tenían características propias. Y lo que resultaba más curioso, se había descubierto que las estrellas se alejaban de nosotros a grandes velocidades.

Todos estos acontecimientos y conocimientos empezaban a disparar la imaginación de la sociedad. Algunos creían y vaticinaban, no sin pocos seguidores, que el paso de los cometas podría ser mortal para los terrestres: la cola de algunos cometas presenta coloración verdosa por la presencia del venenoso gas cianógeno en ella, y durante su paso por las inmediaciones de la Tierra pensaban que una buena parte del planeta podría quedar sumergida en ella. Como se pudo comprobar, las

aciagas perspectivas no se cumplieron nunca, pues a pesar de existir esta sustancia en la cola cometaria, su concentración era tan tenue que no provocaba ningún tipo de contaminación.

Otra de las fantasías que comenzaba a tomar cuerpo por entonces se relacionaba con la posible vida fuera de nuestro planeta; comenzaba a cobrar forma la existencia de extraterrestres. Precisamente fue un astrónomo el causante de uno de los fiascos más curiosos en la historia de la observación cosmológica. Se trata del estadounidense Percival Lowell (1855-1916). Procedía de una familia adinerada y se graduó en Matemáticas en la Universidad de Harvard en 1876. Poco a poco se fue apoderando de él la afición por la astronomía hasta el punto de construir, en 1894, su propio observatorio en Flagstaff (Arizona), que hoy en día todavía sigue en funcionamiento como monumento histórico nacional. El también astrónomo Giovanni Schiaparelli, que estudió profusamente las estrellas binarias, había enfocado su telescopio al planeta Marte y descrito su orografía en un libro publicado en 1893, *La vita sul pianeta Marte*. En él Schiaparelli describía la existencia de una serie de estrías en el suelo, no muy profundas, que se extendían de manera rectilínea por miles de kilómetros, que denominaba *canali* –'canales'–, y que sugería que eran el principal medio por el cual el agua podía desplazarse sobre la superficie seca del planeta. La equívoca traducción al inglés del término *canali,* que podía ser un elemento artificial o natural (como suponía Schiaparelli), llevó a Lowell a dejar volar su imaginación hasta límites insospechados. Estudió con su telescopio la superficie marciana durante casi quince años, la dibujó detalladamente y expuso sus descubrimientos en tres libros, *Mars* (1895), *Mars and its canals* (1906), y *Mars as the abode of life* (1908). Las ideas de Lowell aventuraban un planeta con agua en los casquetes polares y carencia de ella en las zonas desérticas que cubrían la mayor parte de la superficie del planeta. Seres inteligentes serían los responsables de la construcción de los *canales* para transportar el agua de unas a otras, permitiendo así la persistencia de la vida marciana. Todo fue un espejismo, ningún otro astrónomo fue capaz de reproducir las observaciones de Lowell. Su ansia por ver rastros de inteligencia, unida a las limitaciones de las lentes de los telescopios de la época, fueron los responsables de su ilusión.

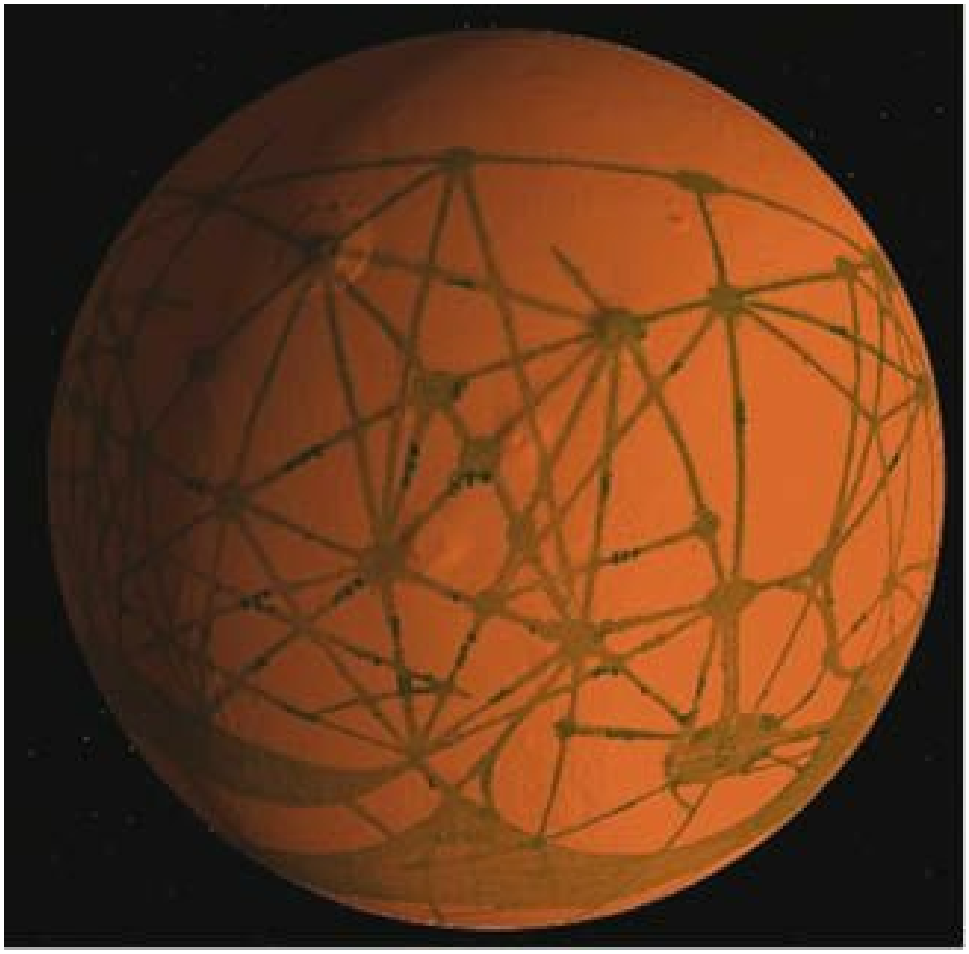


Imagen dibujada por Percival Lowell de la superficie marciana en donde aparecen los entramados reticulares que constituían los canales observados por el científico.

La literatura de ciencia-ficción, que había tenido sus orígenes en el siglo XIX con las obras de Mary Shelley, Jules Verne y H. G. Wells, había encontrado un filón, y fue Edgar Rice Burroughs, con varias novelas ambientadas en el planeta rojo, la primera de ellas publicada en 1912, quien acabó por darle popularidad. La idea de la vida en Marte se mantuvo en la conciencia pública durante décadas.

Y este es el momento de pasar a la siguiente etapa en el estudio astronómico del firmamento. Aunque, como hemos visto, se ha producido en este tiempo un avance cualitativo en nuestra rama científica, que ha pasado de la mera observación telescópica al examen detallado y a la catalogación de una gran variedad de objetos estelares, así como a la mejor comprensión de sus movimientos, constitución y propiedades gracias a la aparición de nuevas técnicas instrumentales, es ahora, en el comienzo del nuevo siglo cuando se abren de par en par las ventanas del cosmos a los investigadores. Van a desarrollarse nuevas teorías, originar nuevos métodos de observación, describir nuevos objetos, algunos de ellos de naturaleza inimaginable, e incluso se llegarán a realizar tránsitos por el espacio exterior de índole artificial o incluso humana.

Todos los grandes descubrimientos de los últimos tiempos están por llegar, y es en el siglo XX, que ahora empieza, cuando van a agolparse y nos van a dejar descubrir por fin al universo tal y como es, con toda su grandiosidad, misterio y esplendor.

5

La astronomía de nuestro tiempo

Y por fin hemos llegado a nuestros días. Vamos a conocer lo que actualmente sabemos del espacio y de los astros que contiene. Para su observación y escudriño ya no dependemos sólo de nuestros ojos o de la visión aumentada que pueden proporcionar los telescopios, ni siquiera de las primitivas técnicas de observación y análisis. Es el momento de que el hombre *salga* de la Tierra y compruebe lo que hay más allá. Es el turno de la tecnología, del gran salto que nos permitirá conocer hasta el espacio profundo y abrir las puertas hacia los confines del universo.

El capítulo anterior que nos dejó finalizando el siglo XIX y comenzando el XX, ya nos permitía atisbar el camino que iba a emprender la astronomía. Cada vez más, los científicos provistos de un importante aparato matemático capaz de teorizar las observaciones y predecir el movimiento de los cuerpos, junto con el incipiente desarrollo tecnológico que se iba incrementando en progresión geométrica, nos advertían de que la época de los grandes descubrimientos estaba por llegar. Los avances en el campo de la física proporcionaban nuevos instrumentos y técnicas, cuyo profuso empleo en astronomía hacían que fuera una de las ciencias más beneficiadas por ello.

A medida que pasaban los años, la sociedad era bombardeada con nuevos hallazgos que rebasaban las imaginaciones más fértiles. Los medios de comunicación, día a día más activos y presentes, proporcionaban continuas informaciones sobre todo ello. A caballo entre los dos siglos surgió la radio, que se desarrolló tan eficazmente que resultó complementaria a la prensa en la difusión de noticias, y a las que pronto se sumó la televisión, esencialmente para constituir el entramado de las comunicaciones responsables de llevar a los hogares, entre otras, ingentes noticias relacionadas con los nuevos progresos y descubrimientos astronómicos.

La sociedad en su globalidad pasó a ser receptora de insólitos conocimientos propuestos por este campo científico. El estudio del Cosmos salió de los laboratorios y del ámbito de la investigación para acercarse a la gente, se socializó y alcanzó todos los rincones del globo. Las noticias que surgían

provocaban preguntas que en algunos casos eran respondidas con nuevos hallazgos, y que en otros permanecen aún sin responder, pero que iluminaban la imaginación y el ansia de las personas por conocer, saber, comprender, todo aquello que hasta este siglo había permanecido sólo accesible a unos pocos, y que a partir de ahora iba a ser apreciado por la mayoría.

Había llegado el momento de que la humanidad fuera consciente del lugar que ocupa en el vasto universo, ese lugar que sirve de ventana para disfrutar de las maravillas que nos rodean.

¿Las estrellas no son inmutables sino que nacen, evolucionan y mueren?

Esta es la primera pregunta que nos asalta. En la Antigüedad, las estrellas eran consideradas como faros permanentes, símbolos de la inmutabilidad del universo, pero en este siglo los astrónomos ya han acumulado suficiente información para saber dos cosas: que las estrellas pueden ser de varios tipos diferentes y que su existencia evoluciona desde su nacimiento hasta el fin.

Vamos a empezar comentando esto último. La primera cuestión que nos inquieta es ¿cómo se forman las estrellas? En el capítulo anterior ya comentamos que una primera teoría fue la expuesta por Pierre Simon Laplace, y suponía que los gérmenes de los sistemas planetarios eran nebulosas de polvo y gas (principalmente hidrógeno y helio) dispersas por el universo. Un paso más allá lo dio el astrónomo, físico y matemático británico James Hopwood Jeans (1877-1946) al desarrollar una ecuación que permitía calcular la masa, el tamaño y la densidad de la nube interestelar a partir de la cual es posible que se produzca el proceso de colapso gravitatorio que será la base de la formación de la estrella. Precisamente, en el interior de las nebulosas se encuentran regiones con diferentes densidades, algunas de las cuales –las *nubes moleculares*– alcanzan la masa crítica de Jeans, lo que provoca que la fuerza gravitacional las empuje hacia dentro de manera que el centro de la región se contraerá más deprisa que el gas circundante por tener mayor densidad, provocando a su alrededor la creación del *disco de acreción* –origen de los futuros planetas– y en su conjunto constituirá lo que denominamos *protoestrella*.

Algunas de las nebulosas que contienen regiones de formación de estrellas en su interior son la nebulosa de Orión –la más cercana a la Tierra–, la del Águila (en la constelación de la Serpiente), la nebulosa Trífida (en la constelación de Sagitario) o la de la Laguna (también en Sagitario).

La protoestrella formada, constituida principalmente por hidrógeno y helio, evoluciona más rápidamente cuanto mayor sea hacia la creación de la estrella en la fase que calificamos como *secuencia principal*. Su evolución se produce mediante el colapso gravitatorio de su masa, que se contrae hacia el interior y origina un aumento térmico que será el responsable de que se originen los procesos termonucleares de fusión del hidrógeno en helio, y que desprenderá la energía que por convección llegará a la superficie provocando que se *encienda* la estrella. Eso le ocurrió a nuestro Sol hace unos cinco mil millones de años.

El resto del disco de acreción que acompañaba a la protoestrella formada se irá separando poco a poco de la nueva estrella creada, generando regiones de mayor densidad donde se irán acumulando sus restos, que serán el origen de los *protoplanetas*.

El astrónomo estadounidense de origen holandés Bartolomeus Jan Bok (1906-1983) estudiando la evolución y estructura de los cúmulos globulares, se percató, en la década de los cuarenta del siglo pasado, de que en algunos cúmulos existían regiones opacas y frías donde se producía una mayor acumulación de gas hidrógeno y polvo. Las temperaturas extremadamente bajas de su entorno beneficiaban la agrupación del gas, lo que favorecería el colapso gravitatorio básico para la formación estelar. Estas zonas de nebulosas recibieron el nombre de *glóbulos de Bok,* y hoy se consideran como precursores de la formación estelar.

Una vez que la estrella ha alcanzado la denominada *secuencia principal*, evoluciona quemando su hidrógeno mediante fusión nuclear y formando, con ello, helio. La energía desprendida sigue calentando e iluminando la estrella. Las estrellas pasan cerca del noventa por ciento de su existencia en esta etapa. Permanecen estables por más tiempo cuanto menores son; por ejemplo, las estrellas más grandes y calientes que el Sol están en esta fase durante dos o tres millones de años, otras como el Sol o similares estarán en ella varios miles de millones de años, y las más pequeñas se mantendrán así decenas o incluso centenares de miles de millones de años. La masa consumida durante toda esta etapa sólo es aproximadamente el diez por cientode la total que contiene la estrella.

Estos procesos internos de las estrellas los sugirió por primera vez el astrofísico británico Arthur Stanley Eddington (1882-1944) que, al observar el eclipse solar del 29 de mayo de 1919, también contribuyó a la comprobación experimental de la teoría general de la relatividad que, entre otras cosas, predecía que la trayectoria de la luz se curvaba al pasar cerca de grandes masas estelares. Así pues, sus fotografías de las estrellas cercanas al sol permitieron comprobar que aparecían desplazadas de su posición por la curvatura experimentada por la luz, tal y como proponía Einstein.

En 1911, el astrónomo danés Ejnar Hertzsprung y, de manera independiente en 1913, el estadounidense Henry Norris Russel, desarrollaron sendos diagramas en los que situaban a las estrellas, el primero en función de su luminosidad y color, y el segundo en función del tipo espectral –relacionado con su temperatura, algo que ya analizamos en el capítulo anterior– que presentaban. El conjunto pasó a denominarse diagrama de Hertzsprung-Russel, y entre otras cosas nos informa del momento en que se encuentra la evolución de la estrella.

La mayor parte de las estrellas se hallan en la diagonal del diagrama, están en su secuencia principal. Arriba a la izquierda están las estrellas azules –muy calientes– de gran masa y luminosidad, como Spica y Sirio. El centro lo ocupan estrellas amarillas de mediana magnitud y luminosidad, como el Sol. La zona inferior de la diagonal está ocupada por estrellas rojas, frías y pequeñas, como Próxima Centauri. En la zona superior derecha, fuera de la secuencia principal, existe otra rama, en la que se agrupan estrellas gigantes y supergigantes rojas de baja luminosidad y temperatura, como Arturo, Aldebarán, Betelgeuse y Antares. Por último, abajo a la derecha existe otra zona donde se colocan las enanas blancas, frías pero de elevada luminosidad, como Sirio B.

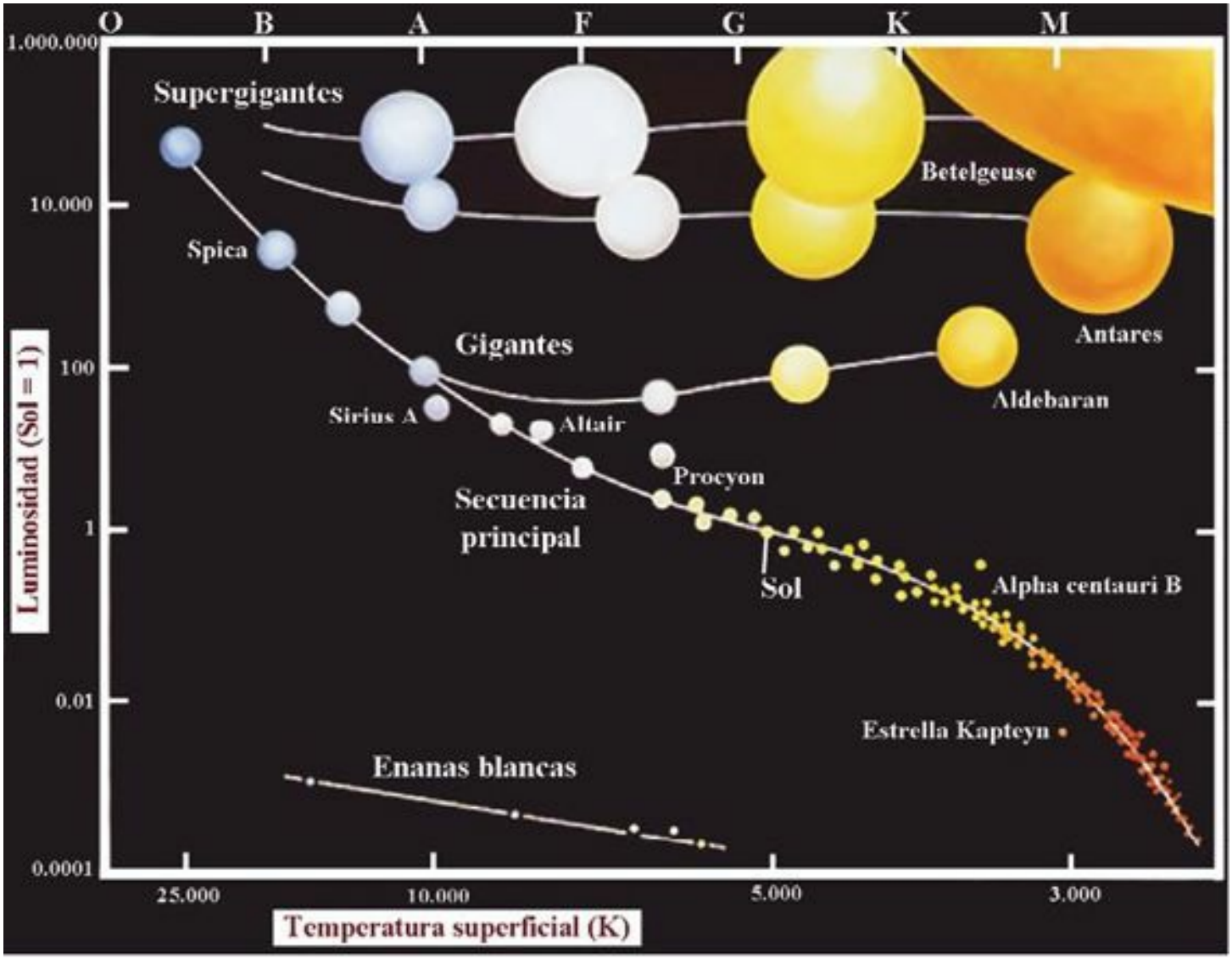


Diagrama de Hertzsprung-Russel. Se muestran en él la disposición de las estrellas agrupadas por su luminosidad, temperatura y color. Se observan las estrellas en la diagonal en su secuencia principal, y otras dos zonas que agrupan estrellas tan dispares como las supergigantes rojas y las enanas blancas.

Pero ¿qué ocurre después?, ¿qué sucede cuando la estrella abandona la secuencia principal para evolucionar rápidamente hacia su muerte?

Como dijimos hace un momento, las estrellas en su ciclo vital consumen el hidrógeno que contienen, que por reacciones nucleares de fusión produce helio y desprende energía desde su *horno*. Este proceso por sí solo produciría la explosión de la estrella. Existe otro proceso que equilibra la situación: el peso de la propia estrella. La gravedad ejerce la presión causante de la fusión del hidrógeno, que provoca la caída sobre sí misma, su colapso. Ambos procesos, explosión e implosión, mientras permanecen equilibrados hacen que la estrella se mantenga *viva*. Las estrellas más grandes son muy calientes, y por ello consumen su combustible rápidamente, en unos millones de años. Las pequeñas, más frías, evolucionan lentamente y llegan a perdurar miles de millones de años.

Cuando haya disminuido apreciablemente su hidrógeno, será incapaz de sostener las capas superiores, y la región central tenderá a contraerse gravitacionalmente, lo que provocará nuevos procesos de fusión, de manera que la estrella se hinchará generando lo que se denomina una *gigante roja,* que indicará el comienzo de su fin. El helio se fusionará formando carbono y este hará lo propio

transformándose en oxígeno, que una estrella de este tamaño ya no puede fusionar en elementos más pesados. Se trata de una estrella más fría. Pasado un tiempo la gigante roja expulsará gran parte de sus estratos exteriores poco ligados gravitacionalmente, contrayéndose y enfriándose más, transformándose en una enana blanca, estrella fría cuyo final es convertirse en una hipotética enana negra o estrella de carbono.

Nuestro Sol evolucionará de esta manera durante unos seiscientos millones de años, y en la fase de gigante roja su volumen será tal que abarcará las órbitas de Mercurio, Venus y la Tierra, abrasando a todos estos planetas. Aunque para que se produzca este proceso deberán pasar todavía unos cinco mil millones de años; nuestro astro aún tiene suficiente combustible. Esta situación será común a estrellas similares al Sol o de masa hasta diez veces menor.

Las estrellas de masa superior a nueve veces la de nuestro Sol sufren una transformación diferente. Una vez alcanzada la fase de gigante roja, y dado que su presión gravitacional es muy elevada, pueden seguir obteniendo energía mediante la fusión del oxígeno conseguido en otros elementos más pesados. Esta situación continúa hasta llegar a la formación de hierro, que por su estructura protónica interna es imposible de fusionar mediante fuerzas estelares, y que provoca una compresión gravitacional tal que el núcleo colapsa desde un tamaño cercano a la mitad del diámetro de la Tierra hasta unos cien kilómetros en unas pocas décimas de segundo. Esto produce una onda de choque que atraviesa en pocas horas las capas externas de la estrella y provocaría reacciones de fusión que forman los elementos más pesados. Cuando la onda de choque llega a la superficie de la estrella, la temperatura alcanza los doscientos mil grados centígrados, y la estrella explota a una velocidad de unos quince mil kilómetros por segundo. Se aprecia así una especie de enorme bola de fuego que se expande rápidamente. Se ha producido la muerte de la estrella en forma de supernova, de cuya explosión queda como remanente una estrella de neutrones de unos pocos kilómetros de diámetro. Las estrellas de neutrones giran rápidamente sobre su eje, por lo que también se denominan *púlsares,* y su densidad es tal que si tuviéramos una cabeza de alfiler de este material pesaría un millón de toneladas. En el centro de la nebulosa del Cangrejo se puede observar uno de estos objetos estelares. Las explosiones en forma de supernovas son las responsables de la existencia de metales pesados en nuestro planeta. El calcio de nuestros huesos, el oro y la plata de nuestras joyas, así como los restantes metales que utilizamos, provienen de explosiones de supernovas en los confines del universo.

El astrónomo estadounidense de origen búlgaro Fritz Zwicky (1898-1974) fue el primero que en la década de los treinta del siglo XX buscó y catalogó metódicamente las explosiones estelares, proponiendo para ellas la teoría que antes hemos comentado.

Hoy sabemos que también se producen supernovas cuando existe un sistema binario formado por una enana blanca y una estrella gigante que va perdiendo su masa, absorbida por la primera. El astrofísico estadounidense de origen indio Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995) calculó que una estrella cuya masa fuera mayor que 1,44 veces la masa de nuestro Sol –lo que se llama *límite de Chandrasekhar*– colapsaría sobre sí misma explotando en forma de supernova, que es lo que le ocurre a la enana blanca del sistema binario que comentábamos.

Las supernovas observadas desde la Tierra han sido muy numerosas en los últimos años, pero no fue así en tiempos antiguos. Sólo existen testimonios de una vista por astrónomos chinos en el año

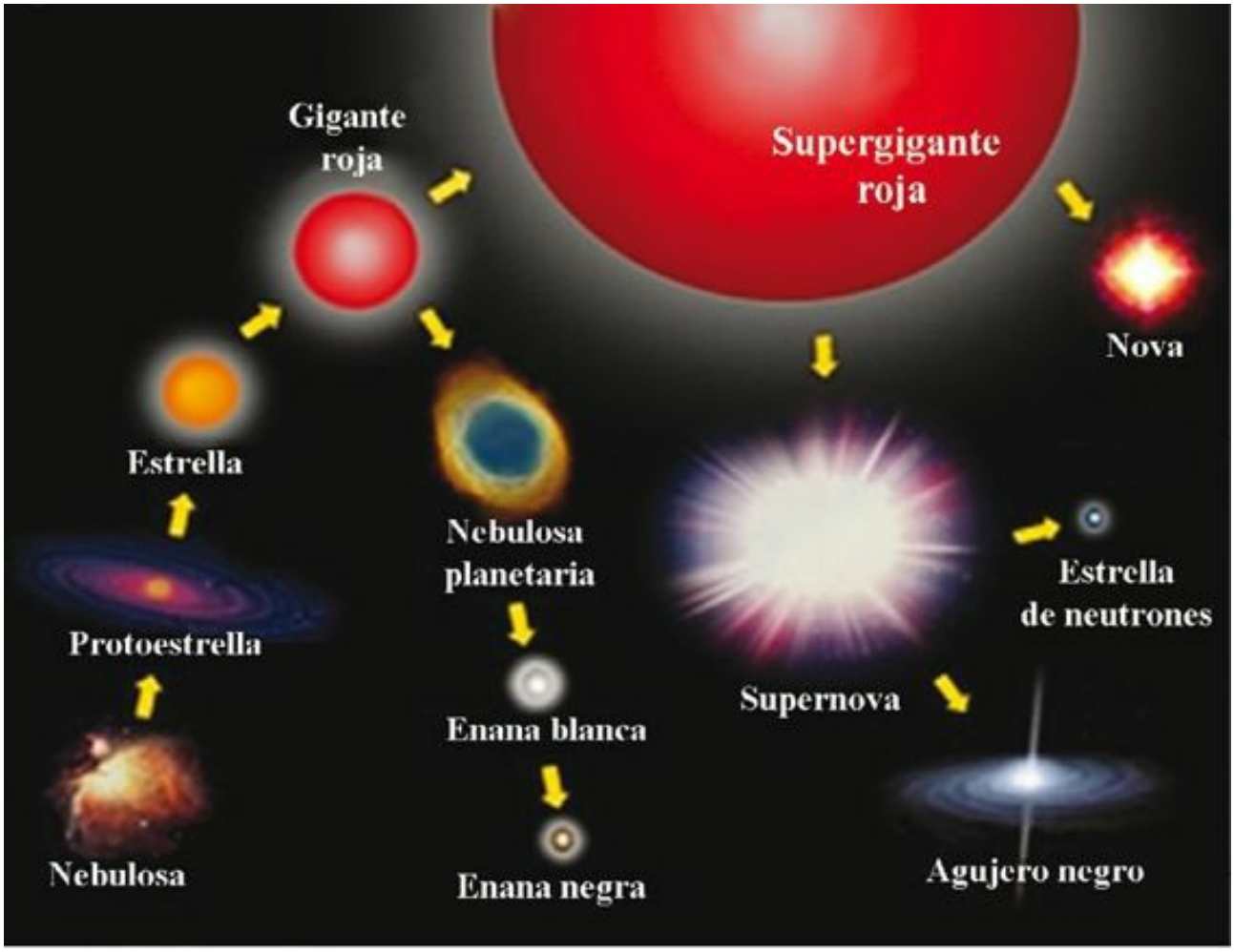
185; otra por astrónomos de Egipto, China, Japón, Francia y Siria en el 1006; la del año 1054, que fue la que originó la actual nebulosa del Cangrejo, referenciada por astrónomos chinos; la del año 1181 en la constelación de Casiopea, notificada por astrónomos chinos y japoneses; la observada por Tycho Brahe en 1572 también en Casiopea, cuya explosión sucedió siete mil quinientos años antes, pues hoy sabemos que esa es la distancia lumínica a la que se encuentran los restos de la estrella original; la percibida por Johannes Kepler en 1604 en la constelación de Ophiuchus; y por último, en 1885 el astrónomo Ernst Hartwig descubrió una en la galaxia de Andrómeda.

Pero a las estrellas supermasivas con masa superior a treinta veces la del Sol les espera un destino diferente, después de las fases anteriores y la explosión de supernova, acabarán transformándose en un agujero negro, del que haremos una descripción más detallada más adelante, en este mismo capítulo.

Una vez analizado el ciclo evolutivo de las estrellas es el momento de comentar algunos descubrimientos científicos peculiares en relación con los astros.

El primero está relacionado con nuestra percepción de las estrellas; nuestra estrella, el Sol, es única; es decir, no tiene compañera, y eso precisamente es lo menos común en el universo. Los científicos han descubierto que la mayoría de las estrellas tienen una o más compañeras. El setenta y cinco por ciento de las estrellas pertenecen a sistemas binarios, y un diez por ciento más a sistemas múltiples. Así que nuestro caso es algo poco usual. Muchas de las estrellas que se consideraban únicas al aumentar la resolución de los telescopios se han descubierto plurales.

En la constelación de Canis Major está la estrella Sirio, conocida desde la Antigüedad, que en realidad es un sistema binario; la visible, Sirio A –una estrella blanca–, y la minúscula, Sirio B, descubierta por el constructor de telescopios Alvan Graham Clark 1862 y englobada en la categoría de enana blanca en 1915 por astrónomos del Observatorio Monte Wilson, situado cerca de Los Ángeles. En la constelación de la Cruz del Sur también es muy relevante la estrella Alfa Crucis, en realidad otro sistema binario. Un ejemplo de sistema ternario es el de la estrella Algol, en la constelación de Perseus.



Etapas evolutivas de los principales tipos de estrellas y objetos celestes del cosmos. Se observa cómo a partir de la nebulosa se forma una estrella y las posibles transformaciones que sufre hasta su final.

Incluso puede haber sistemas múltiples como, Tetha Orionis, una estrella situada en la nebulosa de Orión, que en realidad es un sistema cuádruple, conocido como El Trapecio. En la misma constelación, en el propio cinturón de Orión, se encuentra también Sigma Orionis, una estrella brillante que al enfocarla con suficiente aumento se observa que está formada por seis estrellas más pequeñas.

Podemos imaginar cómo sería el paso del día en planetas que tuviesen estrellas dobles, se podrían ver dos atardeceres, o mediodías con dos soles, o incluso podría no haber noche porque la superficie siempre estaría iluminada por una o por otra estrella.

Un descubrimiento peculiar surgió cuando el astrónomo estadounidense Harlow Shapley (1885-1972), contemplando el firmamento desde el Observatorio del Monte Wilson, se propuso estudiar unas estrellas especiales, las denominadas *variables Cefeidas*. Estos astros, descubiertos en 1912 por la astrónoma Henrietta Swan Leavitt (1868-1921) en la constelación de Cefeo, *palpitaban* a ritmos regulares y tenían mayor luminosidad cuanto más largo era su período. Esta propiedad se empleó para medir distancias estelares con bastante precisión. Precisamente Shapley, observando estas estrellas, descubrió que la Vía Láctea era mucho mayor que lo imaginado hasta entonces, y que el Sol no ocupaba su centro, sino un lugar bastante alejado de él.

Otros de los objetos estelares observados pero todavía hoy no resueltos totalmente son los denominados *quásares*. Inicialmente se pensó que eran estrellas muy lejanas, pues su luminosidad era muy elevada, pero de muy pequeño tamaño, pues sólo eran visibles con radiotelescopios. Fue el astrónomo holandés Maarten Schmidt (1929) quien al estudiar este tipo de objetos se percató de que a través del análisis de sus espectros lumínicos –que explicamos en el capítulo anterior– se podía determinar la inmensa lejanía a la que se encontraban. De hecho, el primero observado por Schmidt en 1963 se encontraba a unos dos mil millones de años luz, por lo que, dada su pequeñez, su luminosidad debía de ser equivalente a la de unas cien galaxias. Lo denominó *quasi-stellar radio source,* que el astrónomo estadounidense de origen chino Hong-Yee Chiu, bautizó en 1964 con su acrónimo *quásar*. Hoy en día se conocen más de doscientos mil de estos objetos, que siguen en estudio, conjeturándose que son núcleos activos de galaxias jóvenes en formación, quizá con un agujero negro en su interior.

Las galaxias y sus agrupaciones

Y ahora debemos dar un nuevo paso hacia adelante, hemos de responder a otra pregunta: ¿todos esos miles de millones de estrellas se encuentran libres en el espacio o por el contrario forman parte de aglomerados estructurados?

La respuesta, ya imaginada por Kant en el siglo XVIII, como hemos visto en el capítulo anterior, al conjeturar con los universos isla, se abrió camino poco a poco.

En primer lugar, las observaciones del astrónomo estudioso de las Cefeidas, Harlow Shapley, que trató de averiguar la estructura de nuestra Vía Láctea. Por ello, estudió los *cúmulos globulares*, que contenían entre diez mil y un millón de estrellas, percatándose de que estaban reunidos en una región esférica que es donde la Vía Láctea presenta un máximo de anchura y luminosidad; además, se trataba de zona muy limitada, por lo que se podía inferir que en esa dirección se encontraba el centro del disco galáctico. Como dijimos antes, el Sol no se halla ni remotamente cerca de él, hoy sabemos que está una distancia de unos treinta mil años-luz, girando en torno a dicho centro una vez cada doscientos millones de años, a una velocidad de unos doscientos veinte kilómetros por segundo. . Con ello, Shapley concluyó aseverando que nuestra galaxia era única, y que el resto de los objetos visibles no eran más que nebulosas de polvo y gas dispersos por el firmamento.

Por el contrario, el también astrónomo estadounidense Herbert Curtis (1872-1942) defendía la teoría de los universos isla al asegurar que nuestra galaxia no era más que una de tantas de las que pueblan el cosmos. Ambos, Shapley y Curtis, protagonizaron en 1920 el conocido como Gran Debate en la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, en el que ambos defendieron sus teorías sobre la estructura del universo.

La respuesta vino de la mano de uno de los mayores astrofísicos de la época, el estadounidense Edwin Hubble (1889-1953), que observando en 1924 las nebulosas espirales conocidas en el catálogo de Messier como M33 y M31, descubrió en esta última –la nebulosa de Andrómeda– la

existencia de estrellas cefeidas. Al calcular, gracias a ellas, la distancia a la que se encontraba se puede concluir que era un objeto muy grande, de tamaño similar a la Vía Láctea, y desde luego muy apartado de esta. Se la rebautizó como galaxia de Andrómeda, y Hubble continuó con el estudio de las nebulosas, concluyéndose que muchas de ellas no eran en realidad sino galaxias, lo que colocaba a la nuestra como una más de su vasto número –miles de millones– disperso por el universo.

La denominación *galaxia* deriva del término griego *galakt*, 'lácteo', que resulta del aspecto que mostraban, similar a una mancha difusa y blanquecina en el cielo nocturno. En realidad, una galaxia contiene muchos objetos estelares: estrellas, gas, polvo cósmico, planetas, nebulosas, cúmulos estelares y quizá materia oscura, de la que hablaremos más adelante. Actualmente, los científicos especulan con que el número de estrellas en una galaxia oscila entre diez millones y un billón, mientras que el número de galaxias podría alcanzar unos cien mil millones; es decir, que la cantidad de estrellas en el universo es un número *bastante* grande.

La primera clasificación de estos agregados interestelares proviene de Hubble, que en 1926 las agrupó en varios tipos: elípticas, espirales e irregulares. Las primeras son las mayores y contienen una gran cantidad de estrellas viejas. Las segundas, por el contrario, contienen numerosas estrellas jóvenes y abundante gas y polvo interestelar. Posteriormente, en 1936, el mismo astrónomo propuso una clasificación más ambiciosa, que recibió el nombre de secuencia de Hubble, que engloba los siguientes tipos:

1. *Elípticas*, que incluyen desde las circulares a las totalmente elípticas. Un ejemplo es la galaxia Virgo A, situada en la constelación de Virgo.
2. *Lenticulares*, con forma de disco. Un ejemplo es la galaxia de Spindle, en la constelación del Sextante.
3. *Espirales*, con concentración central de estrellas y disco con brazos espirales. Un ejemplo es la galaxia de Andrómeda, situada a unos 2,2 millones de años luz.
4. *Espirales barradas*, similares a las anteriores pero en las que los brazos espirales surgen de una barra central. Un ejemplo es nuestra Vía Láctea.
5. *Espirales intermedias*, cuya morfología compite entre las dos anteriores.
6. *Irregulares*. Un ejemplo es la pequeña nube de Magallanes, en la constelación del Tucán, situada a unos doscientos mil años luz de nosotros.

Nuestra galaxia, la Vía Láctea. Es de tipo espiral con una gran concentración de estrellas en su centro, en el que se especula que también existe un agujero negro. Nuestro sistema solar ocupa un lugar alejado de esa zona, en uno de los brazos espirales, a una distancia de él de unos treinta mil años luz, es decir, unos 282.000 billones de kilómetros.

Pero al igual que las estrellas, las galaxias también pasan por diversos estados evolutivos. El astrónomo estadounidense Carl Seyfert (1911-1960), que trabajaba en el Observatorio del Monte Wilson donde se dedicaba a estudiar principalmente estos objetos estelares, descubrió en 1943 que algunas de las galaxias de tipo espiral emitían una fuerte radiación electromagnética desde su núcleo central, lo que según los teóricos debería atribuirse a la existencia de un agujero negro supermasivo en él. Estos objetos se denominaron *galaxias Seyfert* en honor a su descubridor.

Otro tipo de galaxias son las denominadas *radiogalaxias*, que emiten grandes cantidades de energía en forma de ondas de radio. Estas y las anteriores, junto con los *cuásares* comentados más arriba, se engloban en el conjunto denominado de *galaxias activas* por la cantidad de radiación emitida; se conjetura que son galaxias jóvenes en formación con un agujero negro muy activo en su núcleo central.

Las galaxias no están libres en el universo, sino que se concentran entre sí por la atracción gravitacional existente entre ellas, formando primeramente grupos que a su vez se reúnen dando lugar a entramados mayores denominados *cúmulos,* que también interactúan con otros formando los *supercúmulos* de galaxias.

La Vía Láctea pertenece al grupo local que tiene un diámetro de unos cuatro millones de años luz y que contiene unas treinta galaxias, de las que la mayor es la de Andrómeda. Este grupo pertenece al cúmulo de Virgo. que engloba entre mil quinientos y dos mil grupos de galaxias. Los científicos especulan con la posibilidad de que la Vía Láctea y la galaxia de Andrómeda puedan colisionar dentro de unos tres o cuatro mil millones de años.

Pero aunque conocemos mucho de ellas, las galaxias no dejan de sorprender a los científicos por las incógnitas que todavía contienen. Una de ellas es la relativa a la denominada *materia oscura*.

Galaxias asociadas. Las galaxias se hallan agrupadas en entidades más y más complejas, unidas por fuerzas de atracción gravitacional. Nuestra Vía Láctea pertenece al grupo local, que a su vez está incorporado al cúmulo de Virgo, englobado en el supercúmulo de Virgo.

En 1933, el astrofísico de origen suizo Fritz Zwicky (1898-1974), trabajando en el Instituto Tecnológico de California, observó el cúmulo de galaxias Coma y se percató de que los movimientos existentes en el conjunto eran demasiado grandes para las alrededor de mil galaxias perceptibles; es decir, era preciso que existiera más masa en aquella zona para que los movimientos debidos a las atracciones gravitacionales fueran los que se observaban. La única respuesta que podía ser creíble fue propuesta por Zwicky: debían existir grandes cantidades de materia indetectable por los instrumentos ópticos del momento, por lo que la señaló como *materia oscura*.

Esta masa se agrupa en las zonas externas de las galaxias, en los halos galácticos, y su composición se supone muy variable: desde neutrinos y nubes de gases, hasta cuerpos estelares no luminosos como enanas marrones, blancas o rojas muy débiles, e incluso planetas aislados, a todos estos en conjunto se les designa como *MACHOs* (*Massive Astrophysical Compact Halo Object).*

En los últimos años se han descubierto ingentes zonas que podrían contener este componente tan curioso. Incluso en 2005, astrónomos de la Universidad de Cardiff descubrieron una galaxia situada a unos cincuenta millones de años luz del cúmulo de Virgo, compuesta casi enteramente por materia oscura.

Al parecer este elemento es muy común en el universo; se especula que mientras la materia visible sólo constituye el cinco por ciento de la materia del cosmos, la oscura representaría hasta el veintitrés

por ciento, dejando el setenta y dos por ciento restante para la energía oscura, de la que hablaremos más adelante.

Como hemos comprendido a lo largo de este apartado, los científicos ahora saben que nuestra galaxia es como un grano de arena en el vasto entramado del universo. Pero además han comprendido que todos estos conjuntos estelares forman parte de agregados superiores que nos inducen a suponer que esa sensación de anarquía de las estrellas que observamos por su ubicación en el firmamento es sólo aparente, pues actualmente sabemos que la ordenación y la estructuración de toda la materia es una peculiaridad generalizada en el cosmos.

¿Qué son los agujeros negros?

En nuestro recorrido por los confines del universo nos encontramos con un fenómeno que no por habitual, pues lo hemos oído en las noticias y visto en multitud de filmes de ciencia-ficción, resulta más comprensible: es el caso de los agujeros negros.

En tiempos tan lejanos como 1783, el geólogo inglés John Michell (1724-1793), teórico de la astronomía y la gravitación, publicó un artículo en la Royal Society en el que conjeturaba que si la llamada velocidad de escape de un cuerpo de la Tierra era aquella velocidad mínima que debía alcanzar dicho cuerpo para vencer la fuerza de gravedad que lo mantiene *preso* en el planeta –que por cierto, es de alrededor de cuarenta mil kilómetros por hora–, podrían existir estrellas muy masivas en las que esa velocidad de escape superase a la de la luz, que es de trescientos mil kilómetros por segundo. En ese caso ni siquiera ella misma podría abandonar el astro, y la imagen que alcanzaríamos a detectar sería la de una zona oscura en el espacio.

Con esta premisa podemos decir que los agujeros negros son regiones del espacio de una enorme densidad, ya que contienen tal cantidad de masa que su fuerza gravitatoria impide que salga de esa área cualquier objeto que se encuentre en su zona de influencia, e incluso la propia luz. De ahí su calificativo, negro.

Tuvieron que pasar muchos años y muchos científicos hasta que esta idea volvió a la actualidad. El astrónomo alemán Karl Schwarzschild (1873-1916) publicó en 1916, unos meses antes de alistarse para participar en la Primera Guerra Mundial, un artículo en el que, utilizando las ecuaciones que Albert Einstein describía en su teoría general de la relatividad, calculó el radio que debería tener un objeto en función de su masa para que cumpliese las propiedades descritas para un agujero negro (aunque aún no había recibido tal denominación). Por ejemplo, si el Sol alguna vez pudiera convertirse en un agujero negro, debería comprimirse hasta contener toda su masa en una esfera de tres kilómetros de radio, y si fuera la Tierra la que sufriera esa transformación, su masa debería estar contenida en un radio de aproximadamente nueve milímetros. Con ello dedujo que sólo estrellas supermasivas podrían alcanzar la posibilidad de ser agujeros negros.

Este tipo de objeto estelar tiene un límite, es su zona de influencia, que se denomina *horizonte de sucesos*; cualquier objeto que lo atraviese es engullido por el agujero.

En aquella época se lo consideró como un estudio teórico extravagante, pues se suponía que ninguna estrella podría alcanzar el tamaño necesario para transformarse en agujero negro, y además estático, según la teoría de Schwarzschild, por lo que esta pronto se sumergió en el olvido.

En 1963, el matemático neozelandés Roy Kerr (1933), utilizando las ecuaciones de campo de la relatividad general de Einstein, postuló la posibilidad de que el agujero negro no estuviera estático como había supuesto en sus cálculos Schwarzschild, sino que –como el resto de los objetos estelares– sufriera un movimiento de rotación. Sus cálculos propusieron la existencia de otro tipo de agujeros negros que se formarían tras el colapso gravitacional de una estrella masiva rotativa, y que como trascendente diferencia con los anteriores, contendrían una zona intermedia entre el horizonte de sucesos y el exterior, que denominó *ergosfera,* y de la que luego hablaremos.

Este avance supuso para la comunidad científica creer en la viabilidad real para la existencia de estos objetos ,y por ello, científicos de la talla de los británicos Stephen Hawking (nacido en 1942) y Roger Penrose (nacido en 1931) comenzaron a estudiarlos. Ambos publicaron, a partir de la década de los sesenta del pasado siglo, diversos artículos que incluían el análisis de sus características, geometría y propiedades.

Mas antes de seguir, debemos ser justos y darle el mérito que le corresponde al físico estadounidense John Wheeler (1911-2008), que en 1967 acuñó el término *agujero negro* para este fenómeno astronómico que hasta entonces se denominaba *estrella congelada* o *singularidad desnuda*.

Es mundialmente famoso el libro de Hawking *Breve historia del tiempo* (1988) en el que, además de teorizar sobre el espacio y el tiempo, el origen y el destino de nuestro universo, presenta una elegante explicación que abarca desde el origen de estos misteriosos objetos prácticamente indetectables, hasta su comportamiento en el continuo espacio-temporal, así como su influencia sobre los objetos cercanos y su posible fin.

La teoría de la relatividad de Einstein nos indica que cuando existen grandes fuerzas gravitacionales el entramado espacio-temporal puede alterarse deformándose y ralentizándose, respectivamente. Precisamente un agujero negro es un objeto que tiene la facultad de realizarlo, produciendo en el tejido espacial un hundimiento irreversible, y prácticamente deteniendo el tiempo en las inmediaciones del horizonte de sucesos. Utilizando estos conceptos, Hawking ha teorizado profusamente en la descripción de lo que ocurre al acercarse a uno de estos objetos. Si un intrépido astronauta fuera capaz de llegar a aproximarse a él no notaría nada hasta llegar al horizonte de sucesos, aunque un observador exterior percibiría que cada vez se desplaza más y más despacio; no importaría lo que esperase, porque nunca le verá alcanzar el horizonte. Se trataría una ilusión óptica, ya que realmente el astronauta no tarda una cantidad infinita de tiempo en cruzar el horizonte, sino que a medida que se acerca, la luz que emite el astronauta tarda cada vez más tiempo en llegar al observador; de hecho, la radiación emitida cuando se cruza el horizonte se mantendrá allí para siempre y dará la impresión de estar congelada. En cambio, el astronauta, una vez que atravesase este punto, ya no podría salir del agujero negro, y cada vez sus fuerzas gravitacionales le empujarían más hacia dentro, hacia el centro del agujero negro, de manera que sus pies –más cercanos a esa posición– serían atraídos con más fuerza que su cabeza –más alejada de ella–, provocando su estiramiento hasta la desintegración total.

Hoy conocemos que existen desde microagujeros negros, como el descubierto en 2008 por Nikolai Saposhnikov y Lev Titarchuk, situado en la constelación del Altar, en la Vía Láctea, que tiene una masa equivalente a 3,8 soles y tan solo veinticuatro kilómetros de diámetro, hasta los supermasivos, que tienen una masa de entre un millón y mil millones la de nuestro Sol y que se encuentran en el centro de la mayor parte de las galaxias del universo.

Pero, si son inobservables ¿cómo podemos saber que están ahí? La respuesta es doble: o bien se observan sus efectos gravitacionales sobre cuerpos cercanos o bien es preciso que el agujero esté devorando una estrella cercana, puesto que en este proceso se emiten rayos X detectables por telescopios espaciales.

En este segundo caso, cuando existe en sus inmediaciones una estrella compañera cuya materia van absorbiendo, se alcanzan altísimas temperaturas al mismo tiempo que se emiten rayos X. Es mediante la observación de esta emisión de radiación como somos capaces de detectarlos. Al entrar en espiral en el agujero negro, el gas procedente de la estrella forma lo que llamamos *disco de acreción*. Este gas se acelera cada vez más al acercarse, calentándose hasta millones de grados, con lo que irradia con más fuerza rayos X. Esas ondas son bloqueadas por la atmósfera de la Tierra, por lo que sólo pueden detectarse mediante telescopios espaciales.

Dibujo que muestra el disco de acreción de un agujero negro alimentándose de una estrella compañera. Se emiten rayos X durante este proceso, que pueden captarse mediante telescopios o sondas adecuados.

Así fue como en 1964, empleando un detector de rayos X situado a bordo de un cohete suborbital Aerobee lanzado desde la base espacial de White Sands (Nuevo México, en Estados Unidos), se detectó la emisión de una intensa fuente estelar de rayos X cerca de una estrella supergigante azul cuya masa era la de unos veinte soles, situada en la constelación del Cisne, cerca del centro de nuestra galaxia. La materia de la estrella era irremisiblemente atraída por un objeto de una masa entre cinco y diez veces la del Sol, y los rayos X procedían del disco de gas que entraba en espiral en el objeto. El resplandor de rayos X detectado era intermitente, lo cual evidenciaba que el

miembro oscuro del sistema binario era un agujero negro. Se le bautizó como Cignus X-1, y fue el primero de una larga lista de los descubiertos hasta ahora.

Tal y como suponen los científicos, muchas galaxias suelen contener agujeros negros en su zona central, y la nuestra no es una excepción. En 2002, el equipo del astrofísico Rainer Schödel, del Instituto Max Planck, observando el movimiento de una estrella cercana a un objeto denominado Sagitario A concluyó que este es un objeto compacto muy masivo, del orden de 3,7 millones de veces la masa solar en un radio no mayor de 45 UA (1 unidad astronómica es la distancia media entre la Tierra y el Sol y cuyo valor es alrededor de ciento cincuenta millones de kilómetros) situado a unos veintisiete mil años luz de nosotros. Se trataba del agujero negro central de la Vía Láctea.

Precisamente uno de los últimos descubiertos fue sorprendido en pleno banquete estelar por los astrónomos Ryan Chornock y Suvi Gezari, de la Universidad John Hopkins, en mayo de 2010 gracias al telescopio Pan-STARRS 1, en Hawái. Observaron el resplandor en el corazón de una galaxia situada a dos mil setecientos millones de años luz, que fue haciéndose progresivamente más intensa y que alcanzó su punto culminante a mediados de julio para ir apagándose paulatinamente. Este era supermasivo, pues tenía una masa tres millones de veces superior a la de nuestro Sol.

Todavía nos quedan algunas preguntas que surgen al pensar en estos objetos, ¿son los agujeros negros inmutables, duran para siempre? Y, sobre todo, ¿juegan algún papel importante en la evolución del universo?

La primera pregunta fue contestada por Stephen Hawking en 1976 cuando postuló que estos objetos podrían emitir partículas, idea que le habían transmitido tres años antes los científicos rusos Yakov Zeldovich y Alexander Starobinsky. El cosmólogo británico demostró que los agujeros negros podían formar pares de partículas, de las cuales alguna podría aparecer fuera del horizonte de sucesos –que como dijimos fija el límite del campo de acción del objeto– y, por tanto, escapar. Esta emisión, denominada radiación de Hawking, es un suceso muy lento pero importante en la escala de tiempo del universo, lo que haría que su masa se dispersase poco a poco hasta que llegase a desaparecer.

Y respecto a nuestra última pregunta, sobre el papel que pueden jugar estas entidades estelares con el fin del universo, tema que comentaremos en el próximo capítulo, las controversias científicas continúan, pues si estamos inmersos en un universo abierto –otros piensan que es de tipo cerrado–, los agujeros negros irían devorando poco a poco toda la materia estelar a su alcance e incluso fusionándose unos con otros, hasta quedar uno único que también desaparecería con el tiempo por emisión de la radiación de Hawking que comentábamos más arriba. Pero esto no ocurrirá antes de, al menos, un trillón de años, que es un período *bastante* largo.

Después de explicar la génesis y las propiedades exóticas de estos objetos cósmicos no podemos acabar sin indicar lo que algunos científicos especulan, considerando que a través de la ergosfera del agujero negro, en determinadas condiciones, se podría entrar en una zona espacio-temporal con forma de túnel que los científicos denominan *agujeros de gusano* –que comentaremos en el próximo capítulo– que quizá conectaría estos entes con otros denominados *agujeros blancos* de los que podríamos emerger situándonos en otra región distante del universo, o... quizás en otro tiempo.

Existen planetas fuera del sistema solar

Y por fin uno de los mayores sueños de los escritores y admiradores de la ciencia-ficción se cumplió. En octubre de 1995 los astrónomos suizos Michel Mayor y Didier Queloz descubrieron, girando alrededor de una estrella, el primer planeta fuera de nuestro sistema solar. Se bautizó como 51 Pegasi b. Su tamaño está comprendido entre los de Júpiter y Saturno.

Anteriormente se había descubierto en 1992 un conjunto de planetas de masa similar a la de la Tierra orbitando en torno a un púlsar. E incluso, en 1988 y 1989, se descubrieron sendos objetos que, aunque inicialmente no se consideraron planetas, posteriormente se ha confirmado su realidad como tales.

Estos planetas se denominaron *extrasolares* o *exosolares,* y son muy abundantes en el cosmos. La dificultad para detectarlos radica en que la luz que nos llega de ellos es sumamente débil, y en que la estrella alrededor de la cual orbitan emite tal resplandor que la eclipsa por completo. Por ello, es preciso emplear métodos indirectos para localizarlos. Los más utilizados son los denominados de tránsito, velocidades radiales y astrometría. El primero consiste en observar cambios de luz en la estrella provocados por el movimiento –tránsito– del planeta a su alrededor. El método de las velocidades radiales determina cambios en los espectros de la luz de la estrella al acercarse o alejarse de nosotros –velocidad radial– por las perturbaciones que provoca el planeta compañero. Y el último método enumerado emplea las perturbaciones gravitacionales de oscilación que provoca el planeta en el astro al que está unido.

Los exoplanetas más numerosos entre los encontrados son gigantes gaseosos de masa similar a Júpiter o mayores, ya que con los métodos utilizados son los más fácilmente detectables, aunque los científicos especulan con que en realidad no son los más abundantes. Pero desde que se descubrió el primero, los cazadores de exoplanetas se han multiplicado, y la lista de estos objetos crece día a día de forma vertiginosa.

El primer sistema planetario múltiple se localizó entre 1996 y 1999, situado en torno a la estrella Upsilon Andromedae, en la constelación de Andrómeda, distante unos cuarenta y cuatro años luz de la Tierra, y aún en la fase evolutiva de la secuencia principal, que hemos comentado anteriormente en este mismo capítulo. En total se trataba de cuatro planetas, de masas entre una y cuatro veces la de Júpiter.

En el año 2000, el astrónomo norteamericano Artie Hatzes descubrió el exoplaneta que hasta 2012 conservó el título de ser el más cercano a nosotros. Se trataba del Epsilon Eridani b, de la constelación del Río, ya referenciada por Ptolomeo en el siglo II. Es un planeta de tipo joviano situado a unos diez años luz.

Utilizando la información proporcionada por el telescopio espacial Hubble, en 2003 se confirmó la existencia del hasta ahora planeta más antiguo, de unos doce mil setecientos millones de años, en la constelación de Escorpio. Se le bautizó como planeta Matusalem, está situado a unos cinco mil seiscientos años luz y tiene una masa 2,5 veces la de Júpiter. Correspondería a la primera generación

de planetas en el universo; nuestra Tierra es un planeta de tercera generación formado por las cenizas de otros cuerpos celestes.

En 2006 se catalogaron los dos planetas más lejanos, SWEEPS-04 y SWEEPS-11, que se encuentran en la constelación de Sagitario, a una distancia aproximada de veintidós mil años luz de nosotros. Su masa es de unas cuatro y diez veces la de Júpiter, respectivamente.

En 2007, se anunció el descubrimiento de un exoplaneta 1,7 veces mayor que Júpiter, situado a mil cuatrocientos años luz, en la constelación de Hércules. Se le denominó TrES-4. Aunque es de mayor tamaño que Júpiter, tiene menos masa, por tanto su densidad es muy baja (230 kg/m^3), Algunos científicos han calificado a TrES-4 como el planeta esponjoso. Recordemos que el planeta menos denso del sistema solar es Saturno (690 kg/m^3), cuya densidad es inferior a la del agua (1.000 kg/m^3). Una curiosidad sobre Saturno es que si se le *arrojase* sobre un océano, flotaría como una balsa.

En 2009 se descubrió el planeta extrasolar más parecido a nuestro planeta, el CoRoT 7-b, con una masa unas cinco veces mayor y un radio casi del doble. Orbita alrededor de una estrella muy similar a nuestro Sol que se encuentra a unos trescientos noventa años luz de distancia. En realidad este planeta es un infierno, pues está mucho más cerca de la estrella de lo que está Mercurio del Sol, la temperatura en su superficie se calcula entre mil y mil quinientos grados centígrados.

En el año 2010, un equipo de astrónomos de la Universidad de Ginebra que trabajaban en el Observatorio de La Silla, en Chile, descubrió en una estrella similar a nuestro Sol, en la constelación de Hydra, el mayor grupo planetario hasta la fecha; un total de siete planetas conformaban el sistema, aunque se especula con que en total sean hasta nueve. De ellos cinco son similares en tamaño a Neptuno, uno a Saturno y otro a la Tierra.

En 2011, la sonda espacial Kepler, lanzada por la estadounidense NASA (National Aeronautics and Space Administration) en 2009 con la misión específica de buscar nuevos planetas, localizó el Kepler 22-b, primero situado en la denominada zona habitable de un sistema solar. Se encuentra a unos seiscientos años luz, y su radio es poco más del doble del de la Tierra. Dada su posición respecto de la estrella, si tuviese atmósfera su temperatura en la superficie podría oscilar alrededor de los 22 ºC, lo que lo convierte en el mejor candidato conocido hasta ahora para albergar vida fuera de nuestro entorno.

También en 2011 se descubrió el hasta ahora planeta más denso, cinco veces más que el plomo, el KOI-55 b, en la constelación del Cisne. Se trata del resto del planeta original, tal y como quedó tras la fase de gigante roja de la estrella que se hinchó y se tragó el planeta evaporando buena parte de él.

En otoño de 2012, astrónomos del Observatorio Europeo Austral (ESO) descubrieron el exoplaneta más cercano a la Tierra. Este objeto se encuentra en el grupo de estrellas Alfa Centauri, en la constelación del Centauro, más concretamente orbita alrededor de Alfa Centauri B, situada a unos 4,3 años luz de nosotros. Se trata de un planeta rocoso cuya posición respecto de la estrella es más cercana que la de Mercurio de nuestro Sol. La temperatura en su superficie se estima de unos mil doscientos grados.

Además de los métodos antes comentados para detectar exoplanetas, a partir del 2006 se pusieron en marcha diversas misiones espaciales con ese mismo fin. La primera, fue la COROT (Convection, Rotation et Transits Planétaires) liderada por la Agencia Espacial Francesa (CNES) y la Agencia Espacial Europea (ESA), principalmente. El satélite transporta un telescopio de veintisiete centímetros de diámetro y orbita casi a novecientos kilómetros de la Tierra. Hasta el año 2011 descubrió un total de veintitrés planetas.

La misión Kepler comenzó en 2009 cuando la NASA lanzó desde cabo Cañaveral el cohete que transportaba la sonda con el telescopio espacial. Esta sonda orbita en torno al Sol cada 372 días. La sonda observará simultáneamente unas ciento cincuenta mil estrellas buscando posibles planetas en torno a ellas. En diciembre de 2011, la NASA anunció que el número de candidatos detectados hasta entonces ascendía a 2.321. De ellos, doscientos siete tendrían un tamaño similar al de la Tierra, aunque sólo uno, Kepler-22b, que hemos comentado un poco más arriba, estaba confirmado. La misión finalizará previsiblemente en 2016, y hasta la fecha se ha confirmado la localización de setenta y cuatro exoplanetas.

Para los próximos años están previstas similares misiones como la PEGASE, la Darwin o la PLATO (Planetary Transits and Oscillations of Stars), que intentarán ampliar más aún el catálogo de estos planetas, confirmando o no muchos de ellos, y lo que es más importante, concretando cuáles albergan las condiciones esenciales para que sea factible la existencia de vida en su superficie. Nuestro sueño definitivo.

EL UNIVERSO SE EXPANDE. EL *BIG BANG* Y LA HISTORIA DEL TIEMPO

Ya hemos descrito cómo es el universo actual y cómo los astrónomos fueron definiendo sus características mediante el descubrimiento de los objetos que contiene, así como dando forma a su estructura y ordenación.

Pero una pregunta nos asalta en este momento, o mejor deberíamos decir, desde siempre, desde que el hombre miraba al cielo y se maravillaba de lo que veía en él: ¿cómo empezó todo?

Albert Einstein (1879-1955), en su teoría general de la relatividad, publicada en 1917, comentaba la naturaleza de la gravitación que rige en el universo y obtuvo ecuaciones que predecían que el espacio-tiempo debía estar en constante expansión; es decir, que el universo debía ir aumentando su volumen paulatinamente. Einstein, que como todos sus contemporáneos creía que el universo era estático e inmutable, se horrorizó ante las consecuencias que se derivaban de estas conclusiones. Por ello, se propuso corregirlas inventándose lo que denominó *constante cosmológica*, que permitía anular la expansión del universo en sus ecuaciones, devolviéndoles la perdida estabilidad. Cuando se demostró la realidad de dicha expansión unos años después, Einstein no tuvo más remedio que calificar su corrección como el error más grande de su trayectoria científica.

Trabajando con las ecuaciones de Einstein, el físico y matemático ruso Alexander Friedmann (1888-1925) obtuvo en 1922 y 1924 soluciones que demostraban que no se podía esperar que el

universo fuese estático, pero que no tuvieron demasiada repercusión entonces en el ámbito científico.

En 1927, un sacerdote católico, astrofísico de profesión, el belga George Lamaître (1894-1966), desconocedor de los trabajos de Friedmann, obtuvo similares conclusiones al desarrollar las ecuaciones de Einstein, y también con semejante repercusión. En 1930 el astrofísico Arthur Stanley Eddington, del que hemos hablado anteriormente en este mismo capítulo, no conforme con el concepto de universo estático vigente hasta entonces, merced al escrito remitido por Lamaître con sus deducciones, resultados y derivaciones que llevaban inexorablemente hacia el universo en continua expansión, decidió exponerlo a la sociedad científica mediante una conferencia ante la Real Sociedad Astronómica británica. La repercusión fue extraordinaria, pues el artículo de Lamaître fue calificado de «brillante, decididamente original y satisfactorio», ya que daba respuesta a uno de los mayores interrogantes de la Cosmología.

Posteriormente, en 1931, Lamaître, en un artículo titulado «El comienzo del mundo desde el punto de vista de la teoría cuántica», propuso la idea de que si el universo estaba en expansión, en el pasado –al principio de los tiempos– debería haber ocupado un espacio cada vez más pequeño, proponiendo para su origen la existencia de un *átomo primigenio* o *huevo cósmico* que, con su explosión, provocó la génesis de todo el cosmos.

El posible conflicto sobre las relaciones entre ciencia y fe que provocaban las propuestas de Lamaître, un sacerdote católico como hemos dicho antes, resuelto a conceder a la ciencia su soberanía en sus cuestiones, fue zanjado por él mismo en un artículo donde explicaba:

> El científico cristiano debe dominar y aplicar con sagacidad la técnica especial adecuada a su problema. Tiene los mismos medios que su colega no creyente. También tiene la misma libertad de espíritu, al menos si la idea que se hace de las verdades religiosas está a la altura de su formación científica. El científico cristiano va hacia adelante libremente con la seguridad de que su investigación no puede entrar en conflicto con su fe. Incluso quizá tiene una cierta ventaja sobre su colega no creyente; en efecto, ambos se esfuerzan por descifrar la múltiple complejidad de la naturaleza en la que se encuentran sobrepuestas y confundidas las diversas etapas de la larga evolución del mundo, pero el creyente tiene la ventaja de saber que el enigma tiene solución, que la escritura subyacente es al fin y al cabo la obra de un Ser inteligente, y que por tanto el problema que plantea la naturaleza puede ser resuelto y su dificultad está, sin duda, proporcionada a la capacidad presente y futura de la humanidad. En cierto sentido, el científico prescinde de su fe en su trabajo, no porque esa fe pudiera entorpecer su investigación, sino porque no se relaciona directamente con su actividad científica.

Fue el astrónomo estadounidense Edwin Hubble –del que ya hablamos antes– quien publicó en 1929 sus observaciones realizadas sobre los movimientos de las galaxias, en donde sorprendentemente comprobaba que la gran mayoría de ellas se alejaban de nosotros, y más deprisa cuanto más lejos se encontraban. Eso sólo podía ocurrir si, tal y como proponía Lamaître, el universo estaba en continua expansión. Pero eso, como podría suponerse, no significa que nuestra galaxia ocupe un lugar central en él; la situación real queda descrita si consideramos al espacio como la superficie de un globo que se va hinchando poco a poco. En esta superficie se encuentran las galaxias, con sus estrellas y los demás objetos que forman el cosmos. A medida que se hinchase dicho globo se observaría cómo los objetos se separarían unos de otros al mismo tiempo sin que existiera ningún punto central; es lo que ocurre, el espacio se agranda como el globo imaginado.

El astrofísico ucraniano George Gamov (1904-1968) continuó desarrollando las propuestas de Lamaître y les proporcionó un nuevo apoyo. Tras colaborar con diversas universidades y centros

científicos europeos se trasladó a Estados Unidos para incorporarse al equipo que desarrollaba la bomba atómica, el denominado Proyecto Manhattan. En 1948 publicó un artículo, «El origen de los elementos químicos», que mostraba cómo el helio pudo producirse tras la explosión del átomo primigenio a partir de núcleos de hidrógeno y protones, lo que consecuentemente conduciría posteriormente a la formación de otros elementos, y en el que también predecía que debería existir una radiación de microondas ocupando el universo como resultado de su nacimiento.

El espaldarazo definitivo a la teoría de la expansión del universo se produjo en 1965, cuando los físicos estadounidenses Arno Penzias (nacido en 1933), de origen alemán, y Robert Woodrow Wilson (nacido en 1936) descubrieron por casualidad la existencia de una fuente de *ruido* en la atmósfera que dificultaba las recepciones de una antena para comunicaciones por satélite que estaban fabricando para los laboratorios Bell, en New Jersey. Una vez descartados todos los ruidos parasitarios comprobaron que esa fuente provenía por igual de todas las direcciones del espacio, que en realidad era radiación cósmica de microondas con una temperatura de aproximadamente -270 ºC, que era a la vez lo previsto por Gamov en sus teorías sobre el origen del cosmos en expansión. Penzias y Woodrow *oyeron* los ecos de la gran explosión, y por su descubrimiento recibieron en 1978 el Premio Nobel de Física.

Hasta 1949 no se bautizó esta teoría con el nombre de *Big Bang* (Gran Explosión); paradójicamente, y en un contexto irónico, por uno de sus mayores detractores, el astrónomo británico Fred Hoyle, que defendía precisamente una hipótesis distinta, la del *universo estacionario*, según la cual no había ni principio ni fin para el cosmos.

Los últimos hallazgos permiten estimar que el universo se formó hace unos trece mil setecientos millones de años a partir del *Big Bang.* Pero en realidad no existió ninguna explosión, sino que toda la energía existente estaba contenida en un punto primigenio –*singularidad*– de densidad infinita que en sí mismo era todo el universo. A medida que este se expandía, se vendrían dando las condiciones para que parte de la energía se transformase en las partículas componentes de la materia. Poco a poco, el universo se iría enfriando, y estas partículas comenzarían a unirse para formar otras más complejas que, a su vez, constituirían los átomos, que en un principio fueron de hidrógeno y helio en proporción 4:1.

Pero ¿conocemos cuál fue la cronología de todo este suceso?

Hoy los científicos especulan de forma acorde con lo que ocurrió a partir de los 10^{-43} segundos, es decir 0,0000… (hasta cuarenta y dos ceros en total)… unos segundos después del *Big Bang*; pues desde el tiempo cero hasta entonces la oscuridad sobre lo ocurrido es total. En ese momento, las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza (electromagnetismo, gravedad y las dos nucleares) estarían unificadas en una sola. A partir de entonces, el universo, que ocupa 10^{-35} metros y que está a una temperatura de 10^{32} grados, comienza a expandirse y a enfriarse.

Cuando han transcurrido 10^{-32} segundos después del inicio, y la temperatura ha descendido unos diez mil grados, comienza el período inflacionario en el que el universo crece de forma vertiginosa hasta tener el tamaño aproximado de una naranja.

Para un tiempo transcurrido de 10^{-12} segundos (una billonésima de segundo) tras el *Big Bang,* la temperatura existente es de unos mil billones de grados y se crean los quarks, los electrones, los neutrinos y sus antipartículas, y el tamaño del universo es cercano al de la actual órbita Tierra-Sol.

Transcurrida ahora una millonésima de segundos más, la temperatura baja hasta el billón de grados y comienzan a crearse los protones, neutrones y fotones. Sin embargo, aunque ya existen los fotones portadores de luz no se ilumina el universo todavía, pues la alta densidad de electrones existente en él lo impide. Su tamaño es ahora equivalente al de nuestro sistema solar.

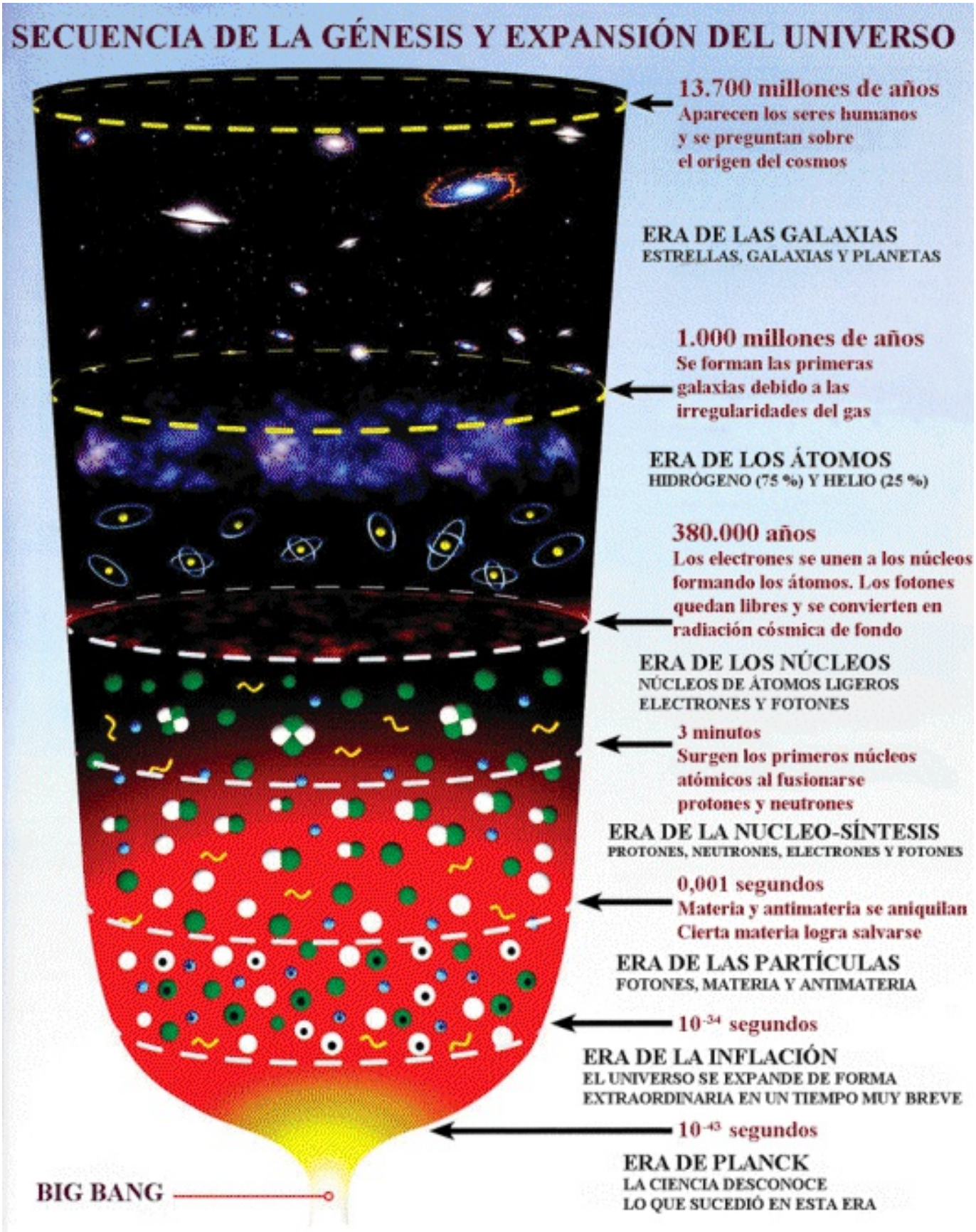
No ocurre mucho más hasta alcanzar los trece segundos desde el origen de todo, ahora la temperatura es de un mil millones de grados –unas setenta veces mayor que en el centro del Sol–, y se comienzan a formar los núcleos de hidrógeno y helio.

A partir de los tres primeros minutos la temperatura existente es similar a la de las estrellas, y como los fotones ya pueden moverse libremente, la luz inunda el cosmos, que continúa expandiéndose a un ritmo regular similar al actual.

Pasados unos cien mil años, la temperatura se ha estabilizado en unos tres mil grados y ya se han formado los átomos de hidrógeno y helio, origen de todos los astros.

Ya han transcurrido mil millones de años desde que el huevo cósmico comenzó a expandirse, y comienzan a originarse las primeras protogalaxias y los agujeros negros. La temperatura del espacio ha decaído terriblemente, es de unos 258 grados bajo cero.

Las estrellas comienzan a formarse unos tres mil millones de años después, y pasados unos diez mil quinientos millones de años tras el *Big Bang*, se conforman nuestro Sol, la Tierra y el resto de los planetas de nuestro entorno. La temperatura esperada para el frío espacio estelar es la encontrada por los científicos proveniente, como hemos comentado, de la radiación de fondo de microondas, alrededor de -270 grados.



Dibujo que muestra la génesis del universo desde el Big Bang hasta el momento actual. Se distinguen las diferentes etapas de formación del cosmos con el tiempo transcurrido en cada una de ellas.

El nobel de Física de 1979 y profesor de la Universidad de Harvard, el estadounidense Steven Weinberg (nacido en 1933) nos regaló en 1977 un libro maravilloso, el clásico *Los tres primeros*

minutos del universo, en el que explica de forma asombrosamente didáctica todo lo ocurrido durante esos instantes primordiales en la existencia del *todo*.

Otro de los libros de cabecera que permite comprender la génesis del universo es el ya comentado anteriormente de Stephen Hawking, *Breve historia del tiempo* (1988), en el que sintetiza las hipótesis, teorías y descubrimientos hasta la fecha en relación con el principio y el fin de universo, que conforma un conjunto de información unificada y organizada tan adecuadamente que permite descubrir al lector aficionado la esencia de la pregunta primordial que siempre nos hechiza, ¿de dónde venimos?

Con el fin de hacernos una idea más gráfica del tiempo transcurrido desde el origen del universo hasta nuestros días, los científicos utilizan el denominado *calendario cósmico* propuesto por el astrofísico Carl Sagan (1934-1996) en su libro *Dragones del Edén*. En este calendario cronológico del universo, su tiempo de existencia, trece mil setecientos millones de años, correspondería a un año completo del calendario terrestre. Así, cada mil millones de nuestros años corresponderían a unos 26,6 días del calendario cósmico. Aproximadamente, y para hacernos una imagen comprensible de tan extensas cantidades de tiempo, podemos incorporar la siguiente tabla:

Fecha en el calendario cósmico	Hace unos...	Suceso
1 de enero	13.700.000.000 años	*Big Bang*
8 de abril	10.000.000.000 años	Origen de la Vía láctea
29 de agosto	4.600.000.000 años	Formación del sistema solar
3 de septiembre	4.400.000.000 años	Formación de la Tierra
27 de septiembre	3.500.000.000 años	Aparición de la vida en la Tierra
6 de noviembre	2.000.000.000 años	Aparición de plantas fotosintéticas
15 de noviembre	1.700.000.000 años	Primeras células con núcleo
12 de diciembre	650.000.000 años	Primeros invertebrados
16 de diciembre	480.000.000 años	Primeros vertebrados
23 de diciembre	230.000.000 años	Aparición de los dinosaurios
25 de diciembre	150.000.000 años	Aparición de las aves
27 de diciembre	65.000.000 años	Extinción de los dinosaurios
29 de diciembre	4.000.000 aós	Primeros homínidos
30 de diciembre	200.000 años	Aparición del hombre
31 de diciembre	3.400 años	Empleo del alfabeto

¿Y qué ocurrirá después, cómo terminará este periplo por el espacio y el tiempo? En el próximo capítulo comentaremos las teorías actuales que intentan dar forma a ese futuro siempre muy lejano.

Observatorios astronómicos y nuevas técnicas instrumentales

Pero para conocer todas estas maravillas es preciso observarlas o detectarlas. Ya han pasado casi doce siglos desde que se construyeron los primeros observatorios astronómicos en Bagdad y Damasco, como comentábamos en el capítulo 2, y las técnicas y aparatos han sufrido infinidad de cambios y mejoras, tal y como también hemos reflejado anteriormente en este libro. Pero es en la segunda mitad del siglo XX cuando el avance que experimentará este campo es impresionante, y los progresos tecnológicos se suceden aceleradamente.

No sólo son las características mecánicas, ópticas o de parámetros de medición las que determinan las bondades de un buen observatorio astronómico. La observación astronómica depende de climas secos, estables y de la transparencia de la atmósfera. Los lugares ideales para su ubicación son las montañas cerca de las costas oceánicas, zonas áridas y altiplanos desérticos donde, además, la contaminación lumínica sea prácticamente inexistente. Si se ha construido para la detección de la radiación infrarroja, es necesario que se ubique en lugares muy secos y extremadamente fríos, pues toda la instrumentación debe trabajar a temperaturas de decenas de grados bajo cero. Actualmente, los ordenadores son los encargados de controlar los telescopios y los instrumentos, El edificio de un observatorio moderno es un sistema inteligente en donde la tradicional imagen del astrónomo que observa el ocular pacientemente durante horas y horas ha pasado a la historia.

Los últimos avances tecnológicos han permitido que la observación astronómica se lleve a cabo no sólo sobre la superficie, terrestre sino que se ha desplazado a la atmósfera, al espacio exterior e inclusive bajo tierra. La atmósfera filtra las radiaciones infrarrojas y ultravioletas, por lo que fuera de ella se puede obtener mejor la información proveniente de estas ondas electromagnéticas. Por ello, en observatorios a bordo de aviones, mediante telescopios espaciales o sondas interestelares, se pueden conseguir testimonios acerca del cosmos hasta ahora invisibles desde nuestro entorno terrestre.

Y las técnicas instrumentales también han avanzado, como no podía ser de otra manera, notablemente. Ya no disponemos sólo de medios ópticos, ni siquiera nos hemos conformado con el estudio de los espectros lumínicos. Las nuevas técnicas incluyen también el análisis de la información que nos llega de la parte del espectro electromagnético que incluye las ondas de radio. Así, nació la radioastronomía.

Como dijimos anteriormente, la atmósfera absorbe la mayor parte de las ondas electromagnéticas lumínicas, pero no ocurre lo mismo con una buena parte de las ondas de radio. La ventana que deja nuestra capa gaseosa permite el paso de ondas de frecuencia entre cinco megahercios y trescientos gigahercios (longitudes de cien metros a un milímetro), que son correspondientes a las altas radiofrecuencias.

En 1993, el ingeniero de radio estadounidense Karl Guthe Jansky (1905-1950), que trabajaba en los laboratorios Bell en New Jersey, se percató de que el centro de nuestra galaxia producía ondas de radio de 14,6 metros que eran captadas por las antenas terrestres. Otro ingeniero, el también estadounidense Grote Reber, que aunaba su interés *amateur* por la astronomía con del radioaficionado, informado del descubrimiento de Jansky, diseñó en 1973 su propio radiotelescopio, y ya en 1944 había diseñado un mapa celeste completo de las emisiones de radio en la Vía Láctea.

Uno de los mayores avances en este terreno lo llevó a cabo el británico Martin Ryle (1918-1984), que concibió la técnica que hoy conocemos como *interferometría astronómica*, por la que apuntando diferentes receptores de señales sobre un mismo objeto se multiplican sus intensidades, amplificándose, por tanto, y consiguiendo así una mejor resolución. Por este trabajo consiguió en 1974 el Premio Nobel de Física, que compartió con el radioastrónomo británico de su equipo de investigación, Anthony Hewish. Este premio lo recibieron también por el descubrimiento en 1967 del primer púlsar –estrella de neutrones– que emitía periódicamente fuertes chorros de ondas de radio.

Hoy en día los observatorios astronómicos están equipados con instrumentos que permiten incrementar las investigaciones con esta técnica de recepción de ondas de radio. Las mejores antenas receptoras son las parabólicas, aunque tienen la dificultad de que es necesario ampliar mucho el plato de recepción para conseguir señales válidas para su estudio.

Una de las aplicaciones más importantes de esta nueva técnica es la de caracterización de especies químicas. Por ejemplo, el hidrógeno es visible en el rango de los veintiún centímetros (zona UHF de ondas de radio). Actualmente se han detectado más de cien especies moleculares interestelares por medio de esta técnica.

Vamos a ir comentando a continuación las peculiaridades, avances y logros de los observatorios más importantes del siglo XX, empezando con del Monte Wilson, uno de los mayores de Estados Unidos, fundado en 1904 por el astrofísico George Hale. Su mayor telescopio es el denominado Hooker, en honor a su benefactor; es de tipo reflector –utiliza espejos en lugar de lentes para enfocar la luz y formar imágenes– con 2,5 metros de abertura. Con el telescopio menor (1,5 metros), el astrónomo Harlow Shapley midió por vez primera el tamaño de nuestra galaxia y se determinó la posición del Sol en ella. El telescopio Hooker fue empleado por Edwin Hubble para determinar las distancias y velocidades de lo que los astrónomos de la época pensaban que eran nebulosas, demostrando –tal y como vimos anteriormente en este capítulo– que eran lo que él denominó universos islas separados de la Vía Láctea, y que posteriormente se bautizaron como galaxias. Igualmente descubrió, con la ayuda de Milton Humason, las primeras indicaciones de que el universo se encuentra en expansión.

La contaminación atmosférica de la cercana ciudad de Los Ángeles obligó a Hale a proyectar y construir otro gran observatorio más al sur, el Observatorio del Monte Palomar (a mil setecientos metros de altitud), cerca de la ciudad de San Diego, cuyo telescopio se diseñó con 5,1 metros de abertura.

Sus mayores descubrimientos están referidos al estudio detallado de galaxias, cuásares, la primera estrella del tipo enana marrón, y las lunas de Urano Caliban y Sycorax. En este observatorio, el astrónomo estadounidense Allan Rex Sandage encontró nuevas pruebas sobre el modelo de expansión del universo y especuló con la existencia en él de ciclos de contracción y dilatación.

Hoy en día, el Observatorio de Monte Wilson alberga algunas de las instalaciones más avanzadas de interferometría óptica, con nueve telescopios, y además mantiene operativo científicamente el telescopio de 2,5 metros El del Monte Palomar, por otro lado, también sigue muy activo, con nueva

instrumentación que permitió por ejemplo, descubrir Éride en 2005, el, hasta ahora, mayor exoplaneta enano.

En 1979 se crea el telescopio de espejo múltiple, el MMT (Multiple Mirror Telescope), que combinaba la luz de seis espejos generalmente hexagonales de 1,8 metros de diámetro sobre una estructura compleja manejada por ordenador, consiguiendo una superficie reflectora de 4,5 metros Se situó en el Observatorio del monte Hopkins (2.606 metros), cerca de Tucson (Arizona). Actualmente dispone de un telescopio de espejo de 6,5 metros de diámetro. Uno de sus principales logros fue tomar imágenes de la nube de polvo alrededor de la gigante roja Betelgeuse.

Entre 1993 y 1996 se diseñan dos de los mayores telescopios reflectores ópticos, los Keck I y Keck II, que se ubican en el Observatorio W. Keck situado en el volcán extinto Manua Kea (4.205 m), en Hawái. Cada uno tiene 9,8 metros de diámetro, y está formado por treinta y seis espejos segmentados. Sus espectrógrafos, cuyas capacidades resolutorias son extraordinarias, han dado lugar a muchos descubrimientos revolucionarios, tales como poblaciones estelares de galaxias lejanas, núcleos activos de galaxias, cúmulos galácticos y cuásares, así como nuevas evidencias que apoyan la teoría del *Big Bang*. Este instrumento ha detectado más planetas extrasolares que cualquier otro en el mundo.

También instalado en Manua Kea se halla el telescopio Subaru, de 8,2 metros de diámetro, un gran espejo monolítico con sistemas de óptica activa, que opera con luz infrarroja. El telescopio funciona desde 1999. Uno de sus últimos descubrimientos se refiere a un conjunto de galaxias situadas en la constelación de Vulpecula, a once millones de años luz, que han pasado por un estallido de formación estelar que puede ser clave para entender cómo se formaron las galaxias en el universo temprano, dado que parece ser que se remontan a unos 2,7 millones de años después del *Big Bang*. Los científicos especulan con que estas galaxias en pleno florecimiento pueden ser *protorracimos*, formas antiguas de las actuales galaxias que todavía parecen estar creciendo en hasta su tamaño completo.

Otro de los gigantes telescópicos es el Hobby-Eberly (HET). Se trata de un telescopio de 9,2 metros, con espejo primario que consta de noventa y un elementos hexagonales, situado en el observatorio McDonald, en Texas, desde 1997. El telescopio ha conseguido, mediante estudios espectroscópicos, muy valiosa información acerca de nuestro sistema solar, de las estrellas de nuestra galaxia y de otras galaxias. También es un excelente rastreador de planetas que orbitan alrededor de otras estrellas.

El Very Large Telescope (VLT) es un conjunto de cuatro grandes telescopios de 8,2 metros ubicados en la cima de cerro Paranal, en el desierto de Atacama (Chile). Puestos en funcionamiento progresivamente entre 1998 y 2001, el conjunto VLT es el observatorio más potente del hemisferio sur. Los cuatro grandes telescopios pueden utilizarse de forma separada, o bien conjuntamente para formar un gran interferómetro óptico.

El hemisferio sur todavía cuenta con otro de los más prestigiosos observatorios del mundo, el Gemini, que consta de dos telescopios gemelos ópticos de 8,1 metros que se encuentran operativos científicamente desde el 2003. El Telescopio Géminis Norte, llamado oficialmente C. Gillett

Gemini Telescope, también está situado como el Subaru y los Keck, en la cumbre del Mauna Kea. El telescopio vio su primera luz en 1999 y comenzó sus actividades científicas en 2000. Dado que Geminis Norte puede observar en el infrarrojo cercano y medio, se estudian con su ayuda los procesos de formación estelar y planetaria. Geminis Sur, entretanto, se localiza en cerro Pachón, a dos mil setecientos metros, cerca de La Serena (Chile).

El gran telescopio binocular (LBT) está localizado en el monte Graham (3.260 m), en las montañas Pinaleno (Arizona). Es uno de los telescopios ópticos más avanzados tecnológicamente, con mayor resolución, y la apertura de sus dos espejos lo convierte en el mayor telescopio óptico del mundo. Empezó a funcionar en 2005 y se hizo operacional en el modo binocular en el 2008. En el verano de 2010 alcanzó un gran avance que anuncia una nueva era de astronomía terrestre, pues mediante el empleo de una nueva óptica adaptativa de actualización sobrepasó la agudeza del telescopio espacial Hubble, del que hablaremos un poco más adelante.

El mayor telescopio óptico del mundo es el Gran Telescopio de Canarias (GTC) instalado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (2.396 m), en la isla canaria de La Palma, que comenzó sus trabajos en 2007. Se trata de un telescopio que observa la luz visible e infrarroja con un espejo primario de 10,4 metros, segmentado en treinta y seis piezas hexagonales. Sus mayores frutos obtenidos hasta el momento nos han proporcionado gran información sobre los agujeros negros, las estrellas y galaxias más alejadas, y las condiciones iniciales del cosmos tras el *Big Bang*.

Imagen de la Vía Láctea captada desde el Observatorio de cerro Paranal, en Chile, con el Very Large Telescope (VLT).

Como hemos comentado anteriormente, la atmósfera terrestre supone un gran lastre para la observación astronómica. La capa de aire que rodea nuestro planeta emborrona las imágenes que nos llegan del espacio exterior. No se trata sólo de las condiciones climatológicas, de por sí impredecibles, que pueden ocultar un fenómeno irrepetible, o las de contaminación lumínica, sino de la propia naturaleza de nuestro océano gaseoso. Excepto la luz visible y las ondas de radio, el resto de las

radiaciones lumínicas sólo la atraviesan parcialmente, por lo que la información proveniente de los sucesos del cosmos ha sido erradicada en su mayor parte cuando nos alcanza.

Por ello, los científicos siempre han buscado tener un telescopio que escrute desde fuera; todos soñaron con poner en el espacio uno que les permitiese romper con las ataduras de la atmósfera. Y por tanto, desde que la tecnología hizo posible la puesta en órbita de satélites espaciales, la meta era conseguir colocarlos allí, con lo que dio comienzo la época de las mejores y más bellas imágenes extraídas nunca por el hombre del lejano vacío cósmico, la denominada era del telescopio espacial.

Por vez primera se levantó el velo atmosférico el 7 de diciembre de 1968, cuando fue lanzado con éxito el primer telescopio espacial: el Observatorio Astronómico Orbital (OAO-2), bautizado también como Stargazer. Se trataba de un satélite estadounidense de dos toneladas cuyo instrumento principal estaba formado por cuatro telescopios de 30,5 centímetros de diámetro cada uno, conectados a una cámara de televisión especial para poder estudiar el espectro ultravioleta, una de las regiones prohibidas para la astronomía terrestre. Estuvo en funcionamiento hasta 1973, y entre sus descubrimientos están los enormes halos de hidrógeno de varios miles de kilómetros que rodean los cometas, y las observaciones de estrellas novas.

El segundo telescopio en el espacio fue el Orión-1, lanzado por la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) en abril de 1971 a bordo de la primera estación espacial de la historia, la Salyut 1, y fue operado por astronautas soviéticos. El Orión-1 era un pequeño telescopio reflector, de veintiocho centímetros de diámetro, para estudiar también imágenes en ultravioleta.

A partir de entonces se multiplicaron los lanzamientos de sondas espaciales cuyas misiones abarcan todo un abanico de posibilidades y que están permitiendo a los investigadores actuales ir desentrañando poco a poco los misterios del cosmos.

En 1995 se puso en marcha uno de los proyectos más interesantes, el estudio de la corona solar y de las propiedades magnéticas de nuestro Sol. La sonda espacial Solar and Heliosferic Observatory (SOHO) es responsable de ello. El seguimiento de la actividad solar, la predicción de llamaradas, el análisis del flujo del viento solar, la evolución de las manchas solares, el conocimiento de las temperaturas en sus distintas capas, así como de su magnetismo son algunos de los aspectos acerca de los que remite información. Una curiosidad del SOHO es que ha descubierto más de dos mil cometas cercanos al Sol, imposibles de ver desde la Tierra debido a la fuerte luminosidad de nuestra estrella.

Actualmente, la terminología ha dado un paso más y ya se habla de auténticos observatorios espaciales, pues la capacidad de observación, análisis, fotografía y tratamiento digital de la información que captan los convierten en verdaderos diseños de la ciencia astronómica.

En 1990, la NASA puso en marcha el proyecto que denominó de grandes observatorios, por el que se proponía poner en funcionamiento cuatro potentes ingenios espaciales. El primero de ellos fue el telescopio Hubble (HTS), bautizado así en honor a Edwin Hubble. Fue puesto en órbita a 593 kilómetros de la Tierra, en 1990, como un proyecto conjunto de la NASA y de la Agencia Espacial Europea. El HST es un telescopio de tipo reflector y su espejo primario tiene un diámetro de 2,4 metros. Orbita a unos veintiocho mil kilómetros por hora, pero se trata de un telescopio

accesible, pues puede ser abordado por un transbordador espacial para misiones de reparación, mantenimiento o instalación de nuevos instrumentos. Las imágenes que nos ha enviado el Hubble son auténticamente maravillosas. El hombre nunca había conseguido ver el espacio profundo con esta nitidez y repleto de tantas formas espectaculares. Son imágenes de galaxias, nebulosas, agujeros negros…, incluso el violento choque del cometa Shoemaker-Levy 9 contra Júpiter fue nítidamente percibido en 1994. También está proporcionando una valiosísima información acerca del origen y la edad del universo. Uno de sus últimos descubrimientos se refiere al planeta GJ 1214b, cuya masa sería de unas 6,5 veces la terrestre, y su radio de 2,7 veces el de nuestro planeta. Se trataría de una supertierra que orbitaría alrededor de una estrella enana roja situada a unos cuarenta y dos años luz del sistema solar. Los datos obtenidos permiten conjeturar que se trata de un mundo acuático: un planeta con un núcleo de roca y hielo cubierto por una densa atmósfera de vapor de agua en equilibrio con un océano global de centenares de kilómetros de profundidad que estaría constantemente en ebullición, dado que su temperatura media alcanzaría los doscientos treinta grados cetígrados.

El segundo de los grandes observatorios fue el Compton de Rayos Gamma (CGRO), que recibió tal nombre en honor al físico estadounidense Arthur Compton, galardonado con el Premio Nobel de Física en 1927 por sus estudios acerca de ese tipo de emisión electromagnética. Fue puesto en órbita en 1991 por la lanzadera espacial Atlantis. Sus descubrimientos permitieron estudiar las fuentes de rayos gamma en el universo, así como los púlsares. Concluyó su funcionamiento en el 2000.

El siguiente fue el observatorio Chandra de Rayos X (CXC), llamado así en honor al físico de origen hindú Subrahmanyan Chandrasekhar. Comenzó su andadura cósmica en 1999 merced a la lanzadera Columbia de tan trágico final, como seguramente recordaremos, que explotó en 2003 con toda la tripulación a bordo al poco del despegue. Las informaciones remitidas por este equipo han detectado y analizado explosiones de supernovas e identificado los tipos de elementos químicos presentes en ellas, o nebulosas de gas intergaláctico a millones de grados de temperatura. También han sido capaces de comprobar cómo la rotación de una estrella de neutrones en el centro de la nebulosa del Cangrejo la alimenta de energía, por lo que le permite seguir brillando después de mil años de producida la explosión de la supernova que la originó. Chandra también ha estado informando a los astrónomos sobre los quásares, las estrellas binarias, los agujeros negros o los chorros de rayos X que son expulsados desde ellos. Una de sus últimas aportaciones se refiere al descubrimiento del púlsar con movimiento más rápido que haya sido detectado jamás; tiene aproximadamente quince mil años, se encuentra a una distancia de unos treinta mil años luz de la Tierra y parece rotar a una velocidad de unos diez millones de kilómetros por hora.

Por último, el telescopio espacial Spitzer (SST), preparado para la observación infrarroja, fue lanzado en 2003. Su nombre es un homenaje a Lyman Spitzer, destacado impulsor de los telescopios espaciales. Su misión principal es detectar la estructura y composición de los discos de polvo y gas que rodean a las estrellas cercanas que forman parte del proceso de formación de sistemas planetarios. Uno de sus últimos descubrimientos es el del planeta UCF-1.01, de un tamaño de alrededor de dos tercios del de la Tierra. Se halla orbitando alrededor de una estrella situada sólo a

treinta y tres años luz, pero aunque UCF-1.01 tenga un radio similar al terrestre, no se trata de un planeta habitable, pues la distancia a su estrella es menor que la de Mercurio al Sol, por lo que el planeta es extremadamente caliente, y se estima que la temperatura en su superficie será de unos 600 ºC.

Para detectar la denominada materia oscura, de la que hablaremos en el capítulo siguiente, se lanzó en 2006 el telescopio espacial PAMELA (Payload for AntiMatter Exploration and Light-nuclei Astrophysics). Este artefacto tratará, además, de estudiar las partículas cósmicas, su origen y la presencia de antipartículas en el frío espacio interestelar.

Entre los postreros ingenios situados en órbita destacaremos los observatorios espaciales Herschel y Planck pertenecientes a la Agencia Espacial Europea (ESA), lanzados en 2009 desde la base de Kurú, en la Guayana Francesa a bordo de un cohete *Ariane 5*.

La misión del Herschel abarca muy variados aspectos, desde estudiar la formación y evolución de galaxias en el universo primitivo, la creación de estrellas y su interacción con el medio interestelar, la observación de la composición química de la atmósfera y la superficie de cometas, planetas y satélites, hasta examinar la química molecular del universo, entre otras. Una de sus contribuciones principales ha sido la observación de la formación de una estrella que contiene actualmente entre ocho y diez veces la masa del Sol, algo que según las teorías astrofísicas actuales no puede ocurrir, pues aunque se sabía de la existencia de esos monstruos supermasivos, nunca habían podido ser observados en su estado inicial. Está rodeada de gas y polvo en cantidad equivalente a unas dos mil masas solares que seguirá alimentándola hasta convertirla, dentro de unos cuantos centenares de miles de años, en una de las estrellas más grandes y brillantes de la Vía Láctea. También ha descubierto que el ritmo de formación de las estrellas se ha ralentizado en los últimos tiempos. Uno de sus ulteriores hallazgos es una especie de filamento gigante repleto de galaxias en el que brillan miles de millones de estrellas. Este filamento, que se extiende a través de ocho millones de años luz, conecta dos cúmulos de galaxias que se prevé colisionarán con un tercer cúmulo, dando lugar a uno de los mayores supercúmulos de galaxias del universo, que estará a más de siete mil millones de años luz de nosotros.

Por su parte, el Observatorio Planck tiene como objetivo principal estudiar la radiación de fondo de microondas resto del *Big Bang*. Actualmente, ha completado los dos primeros mapas celestes en su misión de cartografiar el cosmos y ha detectado emisiones de polvo en nuestra galaxia y en vecinas, como las Nubes de Magallanes.

En 2010 se lanzó el artefacto más sofisticado jamás diseñado para estudiar el Sol, el telescopio espacial el Solar Dynamics Observatory (SDO). Su misión consistía en investigar su campo magnético para comprender mejor cómo influye en la química atmosférica de la Tierra y en el clima.

Como adelanto de lo que será el futuro de esta tecnología, la NASA ha anunciado la puesta en marcha del programa denominado Next Generation Space Telescope con la intención de dar un paso más en la investigación espacial. El primero de estos ingenios será el telescopio espacial James Webb (JWST), que está proyectado para remplazar al Hubble, y aunque en principio iba a ser puesto en órbita en el año 2013, parece que problemas de financiación forzarán que empiece a

funcionar en torno al 2018. Su reflector primario será de unos 6,5 metros, y estará compuesto de dieciocho espejos hexagonales. Su misión consistirá en buscar la luz de las primeras estrellas y galaxias formadas tras el *Big Bang*, estudiar su formación y evolución, así como los orígenes de la vida.

La astronáutica. El viaje a las estrellas

Pero el ser humano no se ha contentado con ver las maravillas celestes ni con enviar observadores mecánicos que le acerquen a los misterios cósmicos. El hombre siempre ha albergado en lo más íntimo un sueño: liberarse de las ataduras del planeta y viajar por el espacio estelar para descubrir la grandeza de la naturaleza, llegando a los confines del universo.

Y este sueño comenzó a hacerse realidad en el siglo pasado.

Anteriormente, los escritores, en muchos casos por delante de los avances científicos, ya habían imaginado esta posibilidad. Desde Jules Verne con su *De la Tierra a la Luna* (1866) pasando por H. G. Wells con *Los primeros hombres en la Luna* (1901) o Edgar Rice Burroughs y *Bajo las lunas de Marte* (1912), los autores del incipiente género literario conocido hoy como ciencia-ficción ya iban marcando pautas o generando ideas que en muchos casos se hicieron realidad en pocos años.

Los primeros cohetes referenciados fueron construidos en China allá por el año 1000, empleando pólvora con la que rellenaban tallos de bambú para fabricar así petardos para ceremonias y festivales religiosos. Observaron que los que no explotaban eran propulsados por los gases emitidos por la pólvora inflamada y se desplazaban en todas direcciones.

En el siglo XIII, el monje inglés Roger Bacon mejoró la calidad de la pólvora y aumentó así el alcance de los cohetes. En Francia se comprobó que al disparar un cohete desde un tubo metálico se perfeccionaba la precisión. En el siglo XVI se produjo un gran avance, también mediante los fuegos artificiales: el cohete se dividía en varias etapas que se iban quemando y desprendiendo, hasta que la última y más pequeña llegaba al objetivo. Este sistema sería fundamental para las naves que mucho más tarde se enviarían al espacio.

El problema básico de todos los ingenios tanto tripulados como no es cómo escapar de la Tierra. La fuerza de la gravedad nos atrae inexorablemente hacia abajo, y sólo mediante la aplicación de otra fuerza que la supere podemos abandonar la superficie terrestre. La denominada velocidad de escape es la mínima que debe tener un cuerpo para conseguir salir al espacio exterior, y en nuestro planeta es de algo más de cuarenta mil kilómetros por hora.

Con el fin de conseguir alcanzar esta velocidad, los científicos especulaban con el tipo de motores, el combustible adecuado o la forma más apropiada para las naves espaciales, hasta que el físico ruso Konstantin Tsiolkovski (1857-1935), en su obra *La exploración del espacio cósmico por medio de los motores de reacción* (1903), expuso el principio del cohete: un aparato que puede aplicarle aceleración (empuje) expulsando parte de su masa a alta velocidad en la dirección opuesta. También propuso la forma segmentada de los cohetes y la utilización de combustible líquido, que proporciona más rendimiento. Publicó más de quinientos trabajos científicos dedicados a los vuelos espaciales.

Otro de los pioneros de la astronáutica fue el físico estadounidense Robert Goddard (1882-1945), que, aunque incomprendido en su época, sentó las bases de la moderna navegación espacial. En 1926 diseñó y lanzó el primer cohete de combustible líquido, con un tamaño de poco más de medio metro, que se elevó unos doce metros en un vuelo de dos segundos, demostrando que estos artefactos eran viables.

El considerado tercer padre de la astronáutica fue el físico rumano Hermann Oberth (1894-1989), quien en 1922 sentó las bases de su trabajo en el libro *Die Rakete zu den Planetenräumen* (*Los cohetes hacia el espacio interplanetario*). En 1929, mientras trabajaba en la Universidad Técnica de Berlín, consiguió elevar su primer cohete de combustible líquido, el *Kegeldüse*.

Durante la Segunda Guerra Mundial, el ingeniero espacial alemán Wernher von Braun (1912-1977), tomando como base los diseños e ideas de Goddard, construyó los misiles balísticos denominados *V2* que, con un peso de doce mil quinientos kilos y una longitud de catorce metros, y empleando combustible líquido, consiguieron un alcance de hasta trescientos veinte kilómetros, por lo que fueron utilizados contra ciudades de los aliados, sobre todo en Gran Bretaña y produjeron cuantiosos daños a la población.

Precisamente, tras la finalización de la guerra, Von Braun, junto con casi setecientos científicos alemanes de ramas tan dispares como la cohetería, la electrónica, la aeronáutica, la inteligencia militar o la medicina, quedaron englobados dentro de la llamada Operación Paperclip para ser reclutados por el gobierno de Estados Unidos que, a cambio de su cooperación en las diferentes ramas científicas que les eran propias, los eximiría de culpa por su pasado nazi, integrándolos en la sociedad norteamericana y otorgándoles su nacionalidad. Precisamente, fue a Von Braun a quien se puso al frente de la construcción para el ejército del misil balístico *Júpiter* y los cohetes *Redstone* usados por la NASA –fundada en 1958 por el presidente Eisenhower para competir con el programa espacial soviético– para los primeros lanzamientos del Programa Mercury, que luego comentaremos. En 1960, este programa pasó directamente a la NASA y allí se le encomendó la construcción de los gigantescos cohetes *Saturno*. Von Braun fue el principal diseñador del *Saturno V*, que el año 1969 convertiría el sueño en realidad al llevar por primera vez al hombre a la Luna.

Pero retrocedamos un poco. Al principio fueron los ingenieros soviéticos los que tomaron el liderazgo de lo que luego se denominó *carrera espacial*. El ingeniero ucraniano Serguéi Koroliov (1907-1966), que comenzó trabajando para el ejército soviético, consiguió en 1933 el primer lanzamiento con éxito de un cohete de combustible líquido, el denominado *GIRD-09*. Siguió trabajando en este campo hasta que su vida sufrió un terrible e inesperado cambio. En 1938, durante el período conocido como Gran Purga en la URSS, Koroliov fue detenido, acusado de subversión y recluido en un *gulag* en Siberia. A pesar de la dureza del cautiverio, sobrevivió, aunque con muchas secuelas, hasta que fue trasladado a un centro de internamiento para científicos durante la Segunda Guerra Mundial. En 1944 se desestimaron los cargos en su contra, fue puesto en libertad y rehabilitado. Volvió a sus trabajos de ingeniería de proyectiles y, partiendo del diseño del *V2* alemán, desarrolló nuevos prototipos.

Tras el final de la guerra, la rivalidad entre Estados Unidos y la URSS iba en aumento progresivo durante la época de la Guerra Fría, y la conquista del espacio, que empezaba a tener un efecto

mediático importante entre la población de ambos países, no iba a ser una excepción. Los soviéticos dedicaron importantes esfuerzos humanos y económicos a ello, y con ese fin pusieron en marcha el programa Sputnik, que pretendía poner en órbita satélites artificiales. Koroliov dirigió personalmente su progreso, y el primero de ellos, el *Sputnik 1*, fue lanzado desde Tyuratam (Kazajistán) en octubre de 1957, y puesto en órbita con éxito. El triunfo impulsó al primer secretario del Partido Comunista, Nikita Jrushchov, a exigir a sus ingenieros y científicos un paso espectacular: poner en órbita un ser vivo. En menos de un mes, Koroliov y su equipo construyeron el *Sputnik 2*, en el que colocaron a la perra Laika, y lo mandaron al espacio. Este lanzamiento también fue un gran logro, y ello pese a que por el sobrecalentamiento de la cápsula Laika sólo sobrevivió durante unas siete horas, aunque las autoridades de la URSS durante años aseguraron que fueron varios días. En todo caso, el experimento para comprobar si un organismo era capaz de tolerar la salida al espacio exterior fue satisfactorio.

El programa espacial soviético continuó adelante con la meta puesta en la llegada a la Luna. Utilizando un prototipo de cohetes del tipo Vostok, Koroliov consiguió que una nave, la *Lunik 2,* impactase contra la superficie de nuestro satélite, e incluso la *Lunik 3* consiguió fotografiar su cara oculta.

El siguiente y obvio paso era colocar al hombre en el espacio. Empleando un tipo de cohete denominado Vostok, el 12 de abril de 1961 se lanzó la nave que alcanzó una órbita a trescientos quince kilómetros de la superficie terrestre y cuya preciada carga era el cosmonauta ruso Yuri Gagarin. El vuelo duró ciento ocho minutos y completó una órbita alrededor de la Tierra. La vuelta a casa, no exenta de riesgos y dificultades, se produjo abandonando la cápsula a unos siete kilómetros de altitud y descendiendo en paracaídas cerca del pueblo ruso de Smelovka, aunque las autoridades soviéticas no reconocieron este extremo durante años. Posteriormente, Koroliov propuso la idea de llevar a una mujer al espacio. La elegida fue la también rusa Valentina Tereshkova, que en el año 1963, a una altitud de 231 kilómetros, consiguió efectuar cuarenta y ocho órbitas antes de regresar a nuestro planeta.

Como mejora del cohete Vostok, el equipo de Koriolov diseñó el Vosjod, que permitió al cosmonauta Alekséi Leónov realizar en 1965 el primer paseo espacial de doce minutos de duración, a 167 kilómetros de la Tierra. En esa época el liderazgo de la Unión Soviética en la carrera espacial era incuestionable. Pero en 1966, como consecuencia de sus problemas de salud, fallecía el que sin duda había sido el artífice de los mayores éxitos soviéticos en el campo de los viajes espaciales.

Los estadounidenses no se iban a conformar con esta situación de liderazgo soviético, y ya en 1961, tras su llegada a la presidencia, John F. Kennedy anunció una de sus prioridades en un discurso sobre las necesidades urgentes de la nación ante el Senado y el Congreso:

> Creo que esta nación debe asumir como meta el lograr que un hombre vaya a la Luna y regrese a salvo a la Tierra antes del fin de esta década. Ningún otro proyecto individual será tan impresionante para la humanidad ni más importante que los viajes de largo alcance al espacio; y ninguno será tan difícil y costoso de conseguir.

Y de este modo se pusieron los recursos económicos y humanos imprescindibles para conseguirlo. El programa Apolo fue el encargado de ello. Tal y como dijimos antes, Wernher von Braun y su equipo diseñaron el cohete *Saturno V* de cuatro etapas. La cuarta etapa era la nave *Apolo* propiamente dicha, que constaba de tres módulos, el de mando, otro de servicio y el lunar, que se separaría de ellos en la órbita de la Luna para emprender su descenso con dos astronautas a bordo. La misión que llevó a cabo el alunizaje fue la undécima del programa. El lanzamiento se realizó desde la base de cabo Kennedy, en Florida, y el módulo lunar del *Apolo XI* se posó sobre la superficie de nuestro satélite el 20 de julio de 1969, ciento dos horas y cuarenta y siete minutos después del despegue, llevando a bordo a los astronautas Neil Armstrong y Edwin Aldrin, mientras que el tercero, Michael Collins, los esperaba en el módulo de mando. Posados en una planicie oscura y basáltica denominada Mar de la Tranquilidad, realizaron diversas tareas y experimentos y tomaron muestras para su posterior análisis en la Tierra, durante unas dos horas y media en total. Realizada la misión, volvieron a acoplarse al módulo de mando, el *Columbia*, para regresar a nuestro planeta, cosa que realizaron 195 horas y diecinueve minutos tras la partida, amerizando a unos mil quinientos kilómetros de las islas Hawái. Los esfuerzos de todo el equipo de la NASA responsable de la misión fueron recompensados, pues colocaron a Estados Unidos a la cabeza de la exploración espacial, lugar que hoy en día todavía ocupa. Unos meses después, el 19 de noviembre, el *Apolo XII*, en una misión que duró diez días, alunizó de nuevo en nuestro satélite y realizó varias EVA (actividad extravehicular) de casi ocho horas en total.

Hubo que esperar hasta febrero de 1971 para ver al hombre de nuevo sobre la superficie selenita. Fue la misión *Apolo XIV*, que duró nueve días y en la que el tiempo de recogida de muestras y realización de experimentos ya fue de más de nueve horas. El *Apolo XV*, unos meses después, también alunizó con la misión de utilizar el llamado *rover lunar* para exploraciones de mayor alcance.

La misión *Apolo XVI*, en 1972, tuvo como novedad la utilización por vez primera de la Luna como observatorio astronómico. Por su parte, la misión *Apolo XVII* también en el mismo año, batió varios records, el de permanencia más prolongada en la Luna, con casi setenta y cinco horas, el período más largo (siete horas y media) en la superficie lunar sin interrupción, así como los de mayor tiempo de exploración, que fue de veintidós horas, y mayor cantidad de muestras recogidas. Hasta nuestros días, esta fue la última vez que el hombre recorrió el suelo lunar.

La URSS mientras tanto, y hasta el año 1976, envió diversas misiones dentro del programa Lunik, que aterrizaron para tomar muestras. Todas ellas fueron no tripuladas.

Pero con todo esto empieza una nueva etapa de la exploración espacial. Las estaciones espaciales entran en escena. Son estructuras que se colocan en órbita, que incorporan laboratorios que permiten realizar experimentos sin la férrea traba de la gravedad, y además, observar los efectos a largo plazo sobre el cuerpo humano de las condiciones espaciales, pues están dotadas de habitáculos para que los astronautas se alojen en ellos. La ciencia-ficción se ha ocupado mucho de estos objetos espaciales; recordamos, por ejemplo, el atraque de una nave visitante en una de ellas a ritmo de vals en la película *2001: una odisea en el espacio,* o las series de televisión *Babylon 5* y *Deep Space 9,* perteneciente esta última a la saga *Star Trek*, ambientadas ambas en sendas estaciones.

Su estructura en un principio no era modular, sino que constaban de un cuerpo central con un punto de atraque para naves tripuladas y un determinado número de paneles solares. Eran las denominadas de primera generación como las *Soyuz* y el *Skylab* que vamos a comentar.

En 1971, la URSS logró situar en órbita la que fuera primera estación espacial, la *Salyut 1,* de casi diecinueve toneladas. Se mantuvo a más de doscientos kilómetros de la Tierra durante 175 días, y fue visitada por dos expediciones de astronautas, las *Soyuz 10* y *11*, con el fin de realizar diversos experimentos médicos, biológicos y de observación estelar.

Los esfuerzos de Estados Unidos empezaron a centrarse también en esa dirección. En 1973 pusieron en órbita su primera estación espacial, el *Skylab*. Con un peso de setenta y cinco toneladas, fue lanzada por un cohete del tipo *Saturno V.* Se realizaron cuatro misiones en ella, y cayó a la Tierra, concretamente en Australia, en 1979.

La segunda generación de estaciones espaciales ya incorporaba varios puertos de atraque, y además podían repostar en órbita, ejemplos de este tipo son las soviéticas *Salyut 6* y *Salyut 7*, lanzadas en 1977 y 1982, respectivamente.

La tercera generación comenzó con la entrada en servicio de la estación espacial Mir, que incorporaba ya forma modular. Este diseño multiplicaba su efectividad, pues permitía que se fueran añadiendo módulos específicos en función de las necesidades, que llegaron a ser seis en el caso de la Mir. Este ingenio, primero soviético y posteriormente ruso, empezó su andadura en 1986 con la puesta en órbita del primero de sus módulos. En 1987 se convirtió en un proyecto de carácter internacional cuando se acopló a ella su cuarto módulo en cuyo diseño habían participado soviéticos, británicos, holandeses, alemanes y técnicos de la Agencia Espacial Europea.

Al finalizar la Guerra Fría, los estadounidenses, que decidieron disminuir el presupuesto que destinaban a la NASA para colocar en el espacio uno de estos ingenios, se dispusieron a colaborar con los rusos en sus misiones. Diseñaron el programa Shuttle-Mir que combinaba las capacidades de la estación Mir, que proveía de un laboratorio científico amplio y habitable en el espacio exterior, y de los transbordadores de Estados Unidos que servían de medio de transporte de personas y suministros. La colaboración se fue ampliando hasta llegar a 1995, cuando estadounidenses y rusos compartieron experimentos en ella.

Diversos incidentes acaecidos en 1997, como un incendio que se declaró en la estación y la colisión que tuvo con uno de sus módulos la nave de carga no tripulada *Progress* que se acercaba con suministros, provocaron su declive. Había durado quince años, habían pasado por ella ciento cuatro astronautas, que realizaron más de veintitrés mil experimentos y había dado alrededor de 86.000 vueltas a la Tierra, pero ya era una estación obsoleta, por lo que los rusos decidieron concluir la misión en el 2001 y destruirla de forma controlada haciendo que cayeran sus 135 toneladas convertidas en centenares de fragmentos en el océano Pacífico.

Actualmente a unos cuatrocientos kilómetros de altura está operativa la Estación Espacial Internacional (EEI*;* en inglés, International Space Station, ISS) que recogió el testigo dejado por su antecesora. En el proyecto participan la NASA, la Agencia Espacial Federal Rusa, la Agencia Japonesa de Exploración Espacial, la Agencia Espacial Canadiense y la Agencia Espacial Europea (ESA),

aunque también colaboran italianos y brasileños. Empezó su construcción en 1998 cuando el cohete ruso *Protón* colocó en órbita el módulo *Zaryá*, diseñado para dotar a la estación espacial de la energía y propulsión. Meses más tarde, la NASA puso en órbita el nodo *Unity* a través de su transbordador espacial *Endeavour*. Desde entonces, año tras año se han ido ensamblando los diversos componentes de la estación: módulos habitables o de trabajo –generalmente laboratorios–, nodos de conexión o que contienen los soportes vitales necesarios para la habitabilidad de la estación, el armazón que sirve de estructura, los paneles solares y los brazos robotizados. La estación gira alrededor de la Tierra a una velocidad media de veintisiete mil setecientos kilómetros por hora y describe dieciséis órbitas al día.

Ya en 2012 se habían realizado treinta y un expediciones, y las líneas de investigación dentro del terreno astronómico se centran en los siguientes aspectos: estudiar la estructura y la evolución del universo, la exploración del sistema solar, la conexión Tierra-Sol o la búsqueda de otros sistemas planetarios; pero también tiene otros objetivos de estudio como son la respuesta fisiológica al vuelo espacial, mejorar la precisión en previsiones a largo plazo de fenómenos y cataclismos naturales (huracanes, volcanes...), experimentar sobre gases y aerosoles en la estratosfera, perfeccionar los sistemas de comunicación espaciales de uso comercial, observar el comportamiento de los fluidos en condiciones de microgravedad, sintetizar nuevos productos farmacéuticos, etc.

Pero también los científicos han buscado cómo llegar más allá. Han querido obtener respuesta a muchos de los interrogantes mediante objetos que puedan alcanzar objetos celestes distantes y devolver información. Los ingenios diseñados a tal efecto son las sondas espaciales. Son ingenios de tamaño no muy grande, entre dos y cinco metros, que en su estructura albergan, al menos, un sistema energético con baterías y paneles solares, instrumentos de observación como cámaras fotográficas o espectroscopios, y un equipo de comunicación mediante antenas para retornar la información a la Tierra.

Las primeras sondas enviadas al espacio fueron las soviéticas *Lunik,* que hemos comentado anteriormente. Las sondas del programa Venera, desarrollado entre 1961 y 1983, tenían como misión el estudio del planeta Venus. En 1965 se posó en su superficie la *Venera 3,* que tiene el honor de ser el primer objeto fabricado por el hombre que llega al suelo de otro planeta. La *Venera 9*, en 1975, mandó las primeras fotos de terreno venusiano.

La también soviética *Mars 3*, del programa Marsnik, fue la primera en tocar suelo marciano en 1971, y aunque por muy poco tiempo, envió algunas imágenes de su superficie.

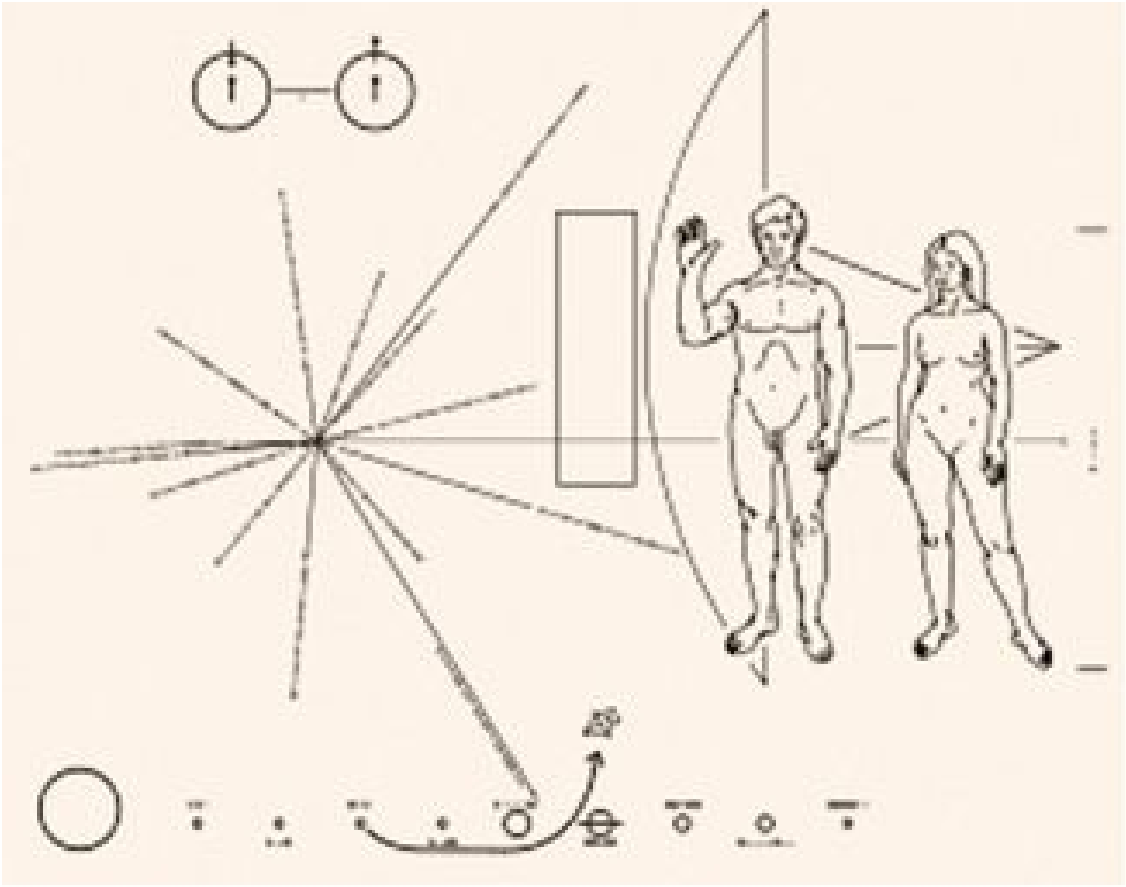
El programa Mariner de la NASA consistió en diez misiones desde 1962 hasta 1973, con el objeto de fotografiar y tomar diversos datos desde el espacio de los planetas Marte, Venus y Mercurio. Como continuidad de esta investigación, los EE. UU. pusieron en marcha en 1975 el programa Viking, que se desarrolló durante cinco años y logró posar una sonda en el planeta en 1976 y enviar importantes cantidades de fotos y datos resultantes de análisis biológicos y moleculares extraídos de su entorno.

En la misma época, la NASA puso en marcha el programa Pioneer –que heredó el nombre de otro de finales de los años cincuenta–, cuyas dos sondas más importantes, la 10 y la 11, lanzadas en

los años 1972 y 1973, tenían como misión la observación de los planetas Júpiter y Saturno, respectivamente. La primera descubrió los tenues anillos de Júpiter, y la segunda, dos nuevos satélites saturninos. Por primera vez se incluyó en ambas una referencia a nuestra existencia para cualquier civilización extraterrestre mediante una placa grabada donde se representan las figuras de un hombre y una mujer, las transiciones del átomo de hidrógeno y la posición de la Tierra en el sistema solar y en nuestra galaxia.

Quizá una de las más conocidas misiones de este tipo corresponde a la sonda espacial robótica *Voyager 1,* de setecientos veintidós kilogramos, lanzada por la NASA en 1977, que como curiosidad comentaremos que lleva un disco de oro titulado *Sounds of heart* que contiene sonidos e imágenes que retratan la diversidad de la vida y la cultura en nuestro planeta con el objetivo de dar a conocer la existencia de vida a alguna posible forma de extraterrestre inteligente que lo encontrase. Su misión inicial era visitar Júpiter y Saturno enviando todo tipo de datos y fotografías. Alcanzó el planeta joviano en 1979 enviando más de diecinueve mil instantáneas. Objeto de su investigación también fueron sus satélites, y observó actividad volcánica en Ío; era la primera vez que se descubría fuera de la Tierra. Alcanzó Saturno a finales de 1980 y descubrió allí estructuras complejas en su sistema de anillos. Pero su misión continúa en la actualidad. La *Voyager 1* siguió su trayectoria por el sistema solar y alcanzó sus confines. En junio de 2012, la NASA anunció que la *Voyager 1* había enviado datos confirmando un aumento en la detección de partículas cargadas del espacio interestelar, lo que hace pensar a los científicos que se halla en el borde del sistema solar, a unos dieciocho millones de kilómetros de nosotros. Ahora comienza su verdadero *viaje a las estrellas*.

Desde entonces, las misiones espaciales no tripuladas han alcanzado gran complejidad y sofisticación técnica. Prueba de ello fueron las misiones de 1996 al planeta rojo, la Mars Global Surveyor, con el objetivo de permanecer en órbita remitiendo datos y fotos, y la Mars Pathfinder, cuyo equipo fue lanzado un mes después del anterior, y que tras siete meses de viaje llegó a Marte en 1997. Esta última tenía como objetivos el estudio morfológico, geológico y geoquímico de la corteza marciana, lo que conseguiría desplazándose hasta cientos de metros del lugar del amartizaje mediante el empleo del rover Sejourney, así como de la meteorología y constitución atmosférica.



Placa incorporada a las sondas Pioneer en la que se representan diversos símbolos para identificar nuestra civilización y la posición que ocupa nuestro planeta referida tanto al sistema solar como a la Vía Láctea, en este caso mediante un haz de líneas que parten radialmente de él en dirección a los púlsares más cercanos.

Otro de los grandes éxitos de la NASA en los últimos años fue la sonda *Cassini-Huygens*, lanzada en 1997 para estudiar Saturno y sus lunas Titán, Japeto, Mimas y Encelado. Además de realizar todos estos objetivos descubrió dos satélites nuevos: Metone y Palene. En 2004 la sonda *Huygens* se separó de su nave nodriza para caer en paracaídas sobre la superficie de Titán, desde donde envió una espectacular información científica. La misión de la *Cassini* sigue en activo en la actualidad.

Con el objetivo de buscar agua en el subsuelo desde la órbita y de restos de vida desde la superficie, la Agencia Espacial Europea envió en 2003 la sonda orbital *Mars Express* hacia el planeta rojo. La misión ha registrado importantes datos, como la detección de capas de hielo polar que contienen un ochenta y cinco por ciento de dióxido de carbono y un quince por ciento de agua.

La sonda *New Horizons* fue lanzada por la NASA en 2006 con el objetivo de estudiar Júpiter, y además conseguir del planeta el empujón gravitatorio que la aproximase a Plutón y luego al cinturón de Kuiper. La primera fase se completó en 2007, y en la actualidad la sonda viaja por el espacio interestelar y se estima su llegada a Plutón en el 2015.

La última de las sondas que mencionaremos aquí, pues existen decenas de ellas operativas en este momento orbitando la Tierra u otros cuerpos celestes, es la Mars Science Laboratory lanzada en 2011 y que amartizó con éxito en agosto de 2012. Incorpora un rover bautizado como *Curiosity* que lleva el conjunto más avanzado de instrumentos para estudios científicos y que fue diseñado para evaluar si Marte alguna vez tuvo un ambiente capaz de soportar formas de vida microbianas.

Hemos concluido el siglo XX y entrado en el XXI, y la humanidad ha dado en estos últimos años pasos de gigante en el conocimiento de nuestro entorno y más allá. Hemos abandonado la prisión que representaba nuestro planeta y hemos sido capaces de salir al espacio para observar desde allí las maravillas del cosmos. Nos hemos desplazado hasta nuestro satélite para dejar allí nuestras huellas. Incluso nos hemos posado en otros planetas y lunas con ingenios tan sofisticados que nos han permitido estudiarlos a distancia. Y por último, nuestros dispositivos han llegado más allá del sistema solar y se desplazan hacia exterior para llegar *hasta donde nunca ha llegado el ser humano*.

Pero aun así es el momento de mirar hacia delante y escrutar lo que nos deparan los próximos decenios. Los conocimientos actuales permiten aventurar muchos de los acontecimientos y descubrimientos que viviremos pronto. Es el momento de imaginar, de imaginar científicamente, y aventurar hasta dónde seremos capaces de seguir investigando y escudriñando el universo.

6

El futuro de la astronomía

Estamos llegando al final de nuestro largo camino. Ha sido un viaje que ha durado más de seis milenios: desde que tuvimos noticia de los primeros restos de civilizaciones observadoras del firmamento hasta la actualidad.

Pero no debemos detenernos en los albores del siglo XXI. La ciencia avanza de forma inexorable, y descubrimientos o tecnologías que ayer parecían de ciencia-ficción se hacen hoy reales.

Los avances en todas las ramas científicas se producen día a día, complementándose y provocando unas los progresos en otras. La astronomía bebe ya de muchas fuentes: las puramente ópticas han evolucionado hasta poder atisbar lugares tan lejanos con similar claridad a aquella con la que se veían los cercanos al principio de los tiempos, los potentes ordenadores hacen prácticamente innecesario el manejo de los instrumentos por parte del hombre y realizan cálculos en lapsos inverosímiles, la tecnología ha sido capaz de construir potentes motores que llevan aparatos de observación y medida a lugares cada vez más distantes e inexplorados, y los científicos han sabido obtener información acerca del cosmos empleando técnicas dispares y cada vez más sofisticadas, consiguiendo profundizar en su conocimiento hasta niveles insospechados.

Pero, como sabemos, estas experiencias conducen a nuevas preguntas; el hombre se distingue por su necesidad de conocer; su inquietud científica es la que lleva a la humanidad a avanzar y conseguir nuevas metas, a intentar desvelar los secretos que aún nos oculta el universo y descubrir nuevos enigmas que resolver, todo ello intentando llegar hasta la última frontera, ese momento insospechado en que seamos capaces de comprender, por fin, la naturaleza de todo cuanto nos rodea.

Por ello, como decíamos al acabar el capítulo anterior, es el momento de imaginar, de apoyarnos en los conocimientos actuales y mirar más allá con los ojos de la ciencia para dibujar nuestro futuro, uno en el cual se abrirán puertas que nos maravillarán aún más, que nos adentrarán por sendas

desconocidas pero atractivas, que nos asombrarán más allá de todo lo que ahora podamos elucubrar por mucho que nos esforcemos.

Es ahora cuando surgen todas esas preguntas que nos conducirán en ese camino del conocimiento, cuando el saber puede dirigir nuestros pasos en el escrutinio de respuestas y en la búsqueda de nuevos interrogantes, cuando podemos decir ¿qué es lo que nos deparan los próximos años en la profundización del conocimiento del universo? Pues también es el momento de empezar a diseñar y esbozar esos mundos imaginados.

La vida en otros planetas. El proyecto SETI

Uno de los sueños del hombre siempre ha sido responder a esta pregunta: «¿Estamos solos en el universo o, por el contrario, somos una de las múltiples y distintas formas de vida del vasto océano interestelar?».

Hoy en día, los científicos conjeturan que la vida surgió entre cuatrocientos y seiscientos millones de años después de la formación de nuestro planeta, y la mayor parte de ellos se decantan por suponer que o bien surgió a través de moléculas precursoras inorgánicas como metano, amoniaco, agua, sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono y fosfatos, que formaron una *sopa primigenia* que en ciertas condiciones (la electricidad atmosférica, la radiación ultravioleta y el calor de los volcanes) evolucionó hasta contener las moléculas orgánicas más complejas constituyentes de esta, o bien llegó a la Tierra procedente del espacio –hipótesis de la *panspermia*– por medio de meteoritos o cometas, como semillas que germinan cuando encuentran el medio ambiente necesario para ello.

La astroquímica es la rama de la ciencia que tiene como objetivo reconocer, por medio de los análisis espectroscópicos, las moléculas presentes en las nebulosas u otros objetos del espacio exterior. Ya en 1937 se descubrió la primera molécula espacial, el metilo, y desde entonces no han parado de aumentar estos hallazgos; por ejemplo, en 2006, con ayuda del telescopio de Green Bank (Virginia Occidental, Estados Unidos) se localizó una zona muy rica en moléculas orgánicas, la nube de polvo de formación de estrellas localizada en la zona de Sagitario a unos 26.000 años luz de la Tierra, cerca del centro de la nuestra galaxia. En los últimos años se han multiplicado estos descubrimientos llegando hasta más de ciento cincuenta de ellas, incluso en 2012 con el telescopio ALMA en el observatorio del desierto de Atacama se han encontrado moléculas de azúcar en el gas de una estrella en formación, que como sabemos son ingredientes necesarios en la formación del ARN y posteriormente del ADN, que a su vez son la base de nuestras células.

Otra rama del saber científico unida estrechamente con la anterior es la astrobiología, que intenta verificar si existe o no vida en el universo. Su impulsor principal fue el astrónomo Carl Sagan, de quien hablamos en el pasado capítulo. En principio, su búsqueda se orienta hacia bacterias u organismos microscópicos. El objetivo más obvio para centrar esa búsqueda tanto por su tradición histórica en la imaginación de la sociedad –los amenazantes *hombrecillos verdes*–, como por sus condiciones ambientales pasadas –y algunas actuales–, es nuestro vecino planeta Marte. Como todos

sabemos, la existencia de agua es imprescindible para el desarrollo de cualquier forma de vida similar a la nuestra. Las actuales condiciones atmosféricas impiden la existencia de agua líquida en su superficie, pero se han encontrado pruebas geológicas de que en el pasado existieron abundantes cursos de agua gracias a una atmósfera más densa que proporcionaba mayor presión y temperatura al planeta. Ya en 1976 las sondas *Viking* realizaron diversos experimentos para descubrir la posible existencia de microorganismos vivos en el planeta con resultados entonces aparentemente negativos, pero que hoy resultan controvertidos para la sociedad científica. La sonda *Mars Global Surveyor* recogió gran cantidad de datos sobre Marte que evidenciaban clara e inequívocamente que tuvo en el pasado agua líquida en su superficie, pues encontró cauces –hoy completamente secos– de ríos que discurrían desde los valles hasta desembocar en cuencas marinas. También descubrió hielo polar en los casquetes del planeta. La sonda *Mars Express* remitió imágenes de un lago congelado de hielo de agua dentro de un pequeño cráter fuera de los casquetes polares de Marte. En 2008, la nave *Phoenix* de la NASA encontró de nuevo hielo en el subsuelo de otra parte del planeta cercana al polo norte. Y en 2011, la NASA envió a Marte la más sofisticada misión hasta la fecha para buscar vida en el planeta, la *Mars Science Laboratory* con su vehículo explorador *Curiosity*, del cual hablamos en el capítulo anterior. Aunque todavía no se han encontrado organismos vivos –que últimamente los científicos suponen que se albergan bajo la superficie–, lo que sí han demostrado las sondas espaciales que han explorado el planeta –y siguen haciéndolo– es que en los primeros quinientos millones de años de su historia, Marte era cálido y húmedo y tenía una atmósfera densa. Así que la siguiente pregunta es obvia, ¿podría volver a serlo? Las necesidades de la humanidad por transformar el planeta en habitable son grandes, ya sea por problemas medioambientales que dificulten la habitabilidad terrestre, ya sea sólo por nuestro afán colonizador o por mera cuestión de supervivencia cuando en ese futuro lejano el Sol convierta en cenizas nuestro planeta –como ya hemos comentado– y necesitemos emigrar a otro; en todos los casos, *terraformar* Marte es una opción que se aleja de la ciencia-ficción para entrar de lleno en los terrenos científicos. La existencia de agua y dióxido de carbono, ambos congelados, nos da las materias primas para conseguirlo. Existe una trilogía novelada sobre este tema: *Marte rojo*, *Marte verde* y *Marte azul*, de Kim Stanley Robinson, que desarrolla esta posibilidad con gran rigor y que es muy recomendable para el lector interesado en este tema. Tal y como parece, el destino finalmente nos conducirá a habitar en Marte, entonces *los marcianos seremos nosotros*.

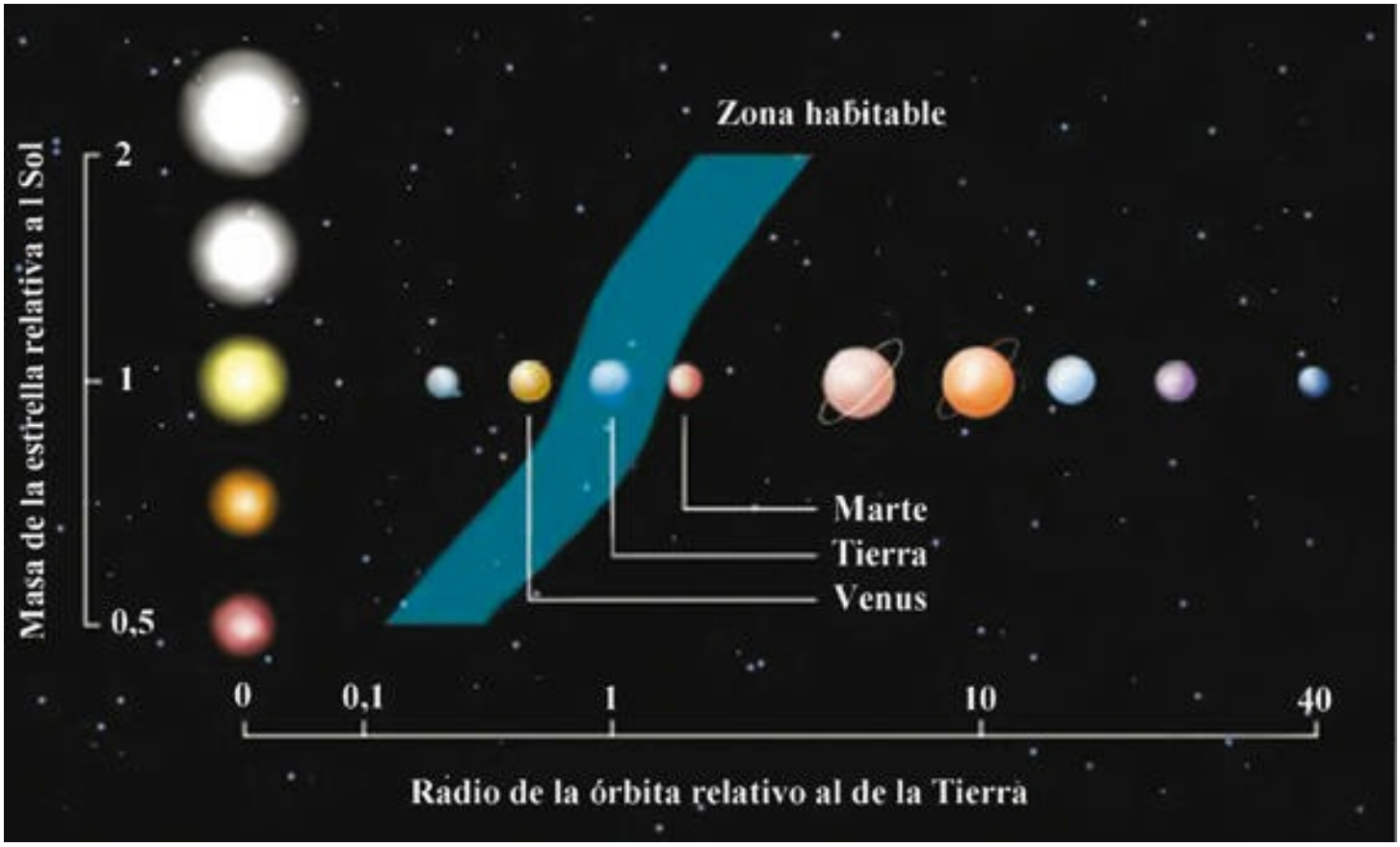
Pero no sólo tenemos depositadas nuestras esperanzas de hallar vida en Marte dentro de nuestro sistema solar. Hay otros planetas o satélites que tienen buenas condiciones de habitabilidad. El que ostenta el número uno en esa supuesta escala, es el satélite de Júpiter, Europa. Como ya dijimos, es uno de los cuatro satélites descubiertos por Galileo en 1610. Las informaciones obtenidas de su superficie por las sondas que lo han estudiado, inclusive el telescopio espacial Hubble, nos desvelan una superficie muy lisa cubierta de grandes estrías que parece contener una capa de hielo de unos cien km de espesor; incluso parte de ella podría consistir en un océano líquido bajo el hielo. El campo magnético observado por la sonda Galileo indica que Europa lo crea a causa de la interacción con el propio campo magnético de Júpiter, lo que potencia la hipótesis de una capa de fluido conductora bajo su superficie, probablemente de agua salada. Esta situación, unida a la presencia tenue pero real de oxígeno, hace volar nuestra imaginación, pues no sería para nada descabellada la

existencia de vida en el satélite bajo el manto helado superficial. Averiguarlo es uno de los retos de las futuras misiones espaciales.

Otro de los candidatos con condiciones posibles de habitabilidad es Encelado, satélite de Saturno, descubierto en 1789 por William Herschel. La sonda *Cassini-Huygens* ha tenido encuentros cercanos con el satélite en múltiples ocasiones entre 2005 y 2012, confirmando las observaciones de 1981 de la sonda *Voyager 2* y descubriendo otras características que en conjunto se concretan en que se trata de un cuerpo con gran actividad geológica que muestra fisuras, llanuras y mesetas arrugadas que indican que el interior puede estar líquido, sobre todo en la región polar sur, donde se concentra la mayor parte de la actividad geológica. Allí existen unos surcos denominados *rayas de tigre* que parecen servir de rejillas de ventilación, por las que se observa que surgen vapor y partículas finas de hielo. Asimismo, se ha detectado una atmósfera de vapor de agua en esa misma región. Incluso se han observado erupciones de géiseres de agua que deben provenir de depósitos bajo la superficie. De nuevo tenemos datos de condiciones que posibilitarían la existencia de vida extraterrestre.

El último de los lugares –hasta ahora– candidatos en nuestro sistema solar a albergar algún tipo de ente vital es Titán, la luna mayor de Saturno. La sonda *Cassini-Huygens* confirmó que su atmósfera es especialmente densa, más que la terrestre, y está compuesta principalmente por nitrógeno (94 %), siendo el resto una mezcla de dióxido y monóxido de carbono, y varios hidrocarburos incluyendo el metano; su composición es muy similar a la de la primitiva atmósfera de la Tierra. La superficie es una mezcla de roca y hielo, que con mucha probabilidad encierra un océano subterráneo de agua y amoniaco a una profundidad de unos cien kilómetros. También existen muchos lagos de metano líquido descubiertos por la citada sonda en 2007. Los científicos sugieren que la existencia de metano atmosférico refuerza la idea de la existencia de organismos que lo produzcan durante su ciclo vital.

Pero para que exista vida tal y como la conocemos deben cumplirse al menos algunas condiciones que la posibiliten, que se definen por lo que los científicos denominan *habitabilidad planetaria*. Las estrellas que alberguen este tipo de planetas deben tener una vida media de varios miles de millones de años para que esta pueda desarrollarse; en relación con ellas, los planetas (o satélites) deben estar dentro de la denominada *zona de habitabilidad* para que el agua –vital para la existencia– se mantenga en estado líquido, y la luz que reciben no debe ser irregular para evitar grandes variaciones de temperatura o radiación que afecten a los ciclos vitales. El tamaño planetario también es un dato importante; los planetas poco masivos no pueden mantener una atmósfera adecuada, ya que la baja gravedad no consigue sujetarla, y por otro lado, estos planetas suelen tener poca actividad geológica, que dificulta la existencia de moléculas necesarias para la evolución y la subsistencia, pero, por el contrario, los gigantes gaseosos, con gran masa, tampoco pueden –o al menos eso se piensa– desarrollar formas de vida, aunque algunos especulan con raras formas exclusivamente aéreas. Por último, la existencia de inclinación axial sobre la eclíptica provoca la existencia de estaciones, lo que favorece la dinámica de la biosfera. Estos son los principales factores que posibilitan la aparición y el mantenimiento de la vida.



Representación para cada tipo de estrella, tal y como se ve en el lateral, de la zona de habitabilidad para los diferentes planetas. Se trata de una estrecha franja donde se permitiría el desarrollo de la vida tal y como la conocemos.

Pero podemos buscar vida como la nuestra en otros sitios en el universo a través de la información que nos llega de ellos; para esto bastaría con fijarnos en los signos que podrían detectarse desde mundos lejanos de las firmas biológicas que emanan de nuestro planeta. La existencia de ciertas moléculas relacionadas con nuestros procesos biológicos puede descubrirse en nuestra atmósfera mediante los espectros característicos de la luz impregnada por ellas. Esas sustancias son el oxígeno –producido por bacterias fotosintéticas y plantas– y su producto fotoquímico, el ozono. Si además esta prueba se combina con la existencia de metano, agua y dióxido de carbono, que se producen en las reacciones metabólicas de animales, vegetales o bacterias, existen muchas posibilidades de que ese planeta tenga vida similar a la que todos conocemos.

La vida basada en el carbono para las estructuras moleculares de los organismos y el agua para su subsistencia es la base de la vida, tal y como la conocemos, pero podría no ser la única en el universo.

Otro elemento químico, el silicio, es estructural y reactivamente bastante similar al carbono, lo cual lo sitúa como un buen candidato para construir otro tipo de organismos; tiene algunas ventajas sobre el carbono; por ejemplo, produce cadenas atómicas mucho más largas y estables, las siliconas; pero también tiene desventajas, por ejemplo, su combinación con el oxígeno –el dióxido de silicio– es sólida, se trata de la arena de las playas, lo que dificulta su entrada en un metabolismo basado en reacciones con el agua, con la que es insoluble.

Otra bioquímica factible, aunque menos probable, sería la basada en los pares atómicos de fósforo y nitrógeno (P-N), que podrían formar una amplia gama de moléculas y subsistir tanto en una

atmósfera rica en dióxido de nitrógeno o en amoniaco, con quienes podrían constituir ciclos metabólicos que posibilitasen la vida.

Y como acabamos de comentar, el amoniaco es una sustancia química que posibilita muchas reacciones químicas y que podría ser el sustituto ideal del agua, aunque una bioquímica basada en este compuesto sería extremadamente diferente a la nuestra.

Pero, una vez expuestas las condiciones de habitabilidad e incluso comentadas las posibilidades puramente químicas de existencia vital, hay que dar un paso adelante y preguntarse por fin: ¿Estamos solos en el universo? ¿Se pueden calcular de alguna manera las posibilidades de que exista vida inteligente en el cosmos?

Una posible respuesta a estos interrogantes viene dada por la denominada ecuación de Drake. El radioastrónomo estadounidense Frank Drake (nacido en 1930) que desde joven fue un ferviente defensor de la existencia de vida inteligente extraterreste, concibió en 1961 una ecuación que introducía una serie de parámetros que, a su modo de ver, podían estimar la cantidad de civilizaciones presentes en nuestra galaxia capaces de tener tecnología suficiente como para comunicarse con otras.

La citada ecuación es la siguiente:

$$N = R^* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

Aunque parezca muy complicada no lo es en absoluto. Vamos a comentar cada símbolo y darle el valor que apuntaba Drake en sus cálculos. Como se puede suponer fácilmente, N representa el número de civilizaciones que podrían comunicarse en nuestra galaxia. Los demás factores son:

- R^* es el ritmo anual de formación de estrellas adecuadas en la galaxia, que estimó en unas diez al año.
- f_p es la fracción de estrellas que tienen planetas en su órbita, al que dio un valor de 0,5 al suponer que la mitad de ellas podrían tenerlos.
- n_e es el número de esos planetas orbitando dentro de la zona de habitabilidad, al que asignó un valor de 2.
- f_l es la fracción de esos planetas en los que la vida se ha desarrollado, optimistamente supuso que el 100 %, por lo que le asignó el valor de 1.
- f_i es la fracción de esos planetas en los que la vida inteligente se ha desarrollado, donde supone que sólo el 1 % cumpliría esta condición, así que el valor asignado es de 0,01.
- f_c es la fracción de esos planetas donde la vida inteligente ha desarrollado una tecnología e intenta comunicarse, a la que asigna la misma probabilidad, es decir valor de 0,01.
- L es el lapso, medido en años, durante el que una civilización inteligente y comunicativa puede existir, que Drake conjetura en unos diez mil años.

Aplicando estos valores a la ecuación obtiene el valor de diez civilizaciones en nuestra galaxia, valor que crecería exponencialmente al contabilizar las existentes, ya que sabemos que existen alrededor de ciento veinticinco mil millones de galaxias en el universo observable.

En todo caso, podríamos mejorar un poco los factores de cálculo del radioastrónomo especulativo Drake con datos actuales más fiables, como por ejemplo que el número de nuevas estrellas es de siete por año, y de ellas sólo un promedio de 1,4 podrían ser adecuadas; los planetas situados en zonas habitables podrían reducirse a uno cada doscientos; y para que se desarrolle la vida al menos deben pasar unos mil millones de años desde la formación del planeta, es decir unos trece de cada cien, entre otras correcciones.

Pero incluso tomando estos datos de manera restrictiva, los científicos especulan que según estimaciones recientes del número de estrellas en el universo podrían existir cada año unas 282 civilizaciones que emitirían señales de radio en todo el universo observable, cumpliéndose que cada una de ellas está a una distancia de unos dos mil millones de años luz respecto a la otra.

Si consideramos los últimos siete mil quinientos millones de años, en la Vía Láctea sólo habrían existido de dos a tres civilizaciones con tecnología muy parecida a la nuestra en torno a una estrella como el Sol, pero alrededor de este tipo de estrella, en el universo observable podrían haber existido más de ochocientos mil millones de civilizaciones tan avanzadas como la nuestra o incluso más.

Como es de suponer, esta ecuación y sus cálculos derivados tienen cantidad de adeptos y detractores dentro de la comunidad científica, pero es una forma semicuantitativa de poder convencernos de que es muy difícil que estemos solos en el universo.

¿Y cómo ponernos en comunicación con alguna de esas civilizaciones extraterrestres que parece que pueblan el universo?

Para ello debemos utilizar la tecnología que tenemos a nuestro alcance, y en base a ello los científicos han puesto en marcha el denominado proyecto SETI (Search for ExtraTerrestrial Intelligence), que intenta encontrar signos de vida inteligente rastreando las señales de radio provenientes del espacio exterior e intentando buscar alguna pauta que denote intelecto. El proyecto comenzó bajo patrocinio de la NASA durante la década de los setenta empleando el radiotelescopio del monte Arecibo (Puerto Rico); su antena de trescientos cinco metros es de tipo esférico (no parabólico), que mantiene un reflector fijo, pero cuya antena y su receptor se sitúan en su punto focal, que intercepta las señales reflejadas por la superficie esférica desde las diferentes direcciones. Como curiosidad comentaremos que en el año 1974 se envió desde allí un mensaje de radio hacia el cúmulo de estrellas llamado M13 –formado por unas cuatrocientas mil de ellas–, situado en la dirección de la constelación de Hércules, a una distancia de unos veinticinco mil años luz. El mensaje, diseñado por Frank Drake y Carl Sagan, entre otros, contiene información sobre la situación del sistema solar, de nuestro planeta y del ser humano.

Una vez comprobado que el análisis de los datos obtenidos de la recepción telescópica de las señales de radio era tan ingente que los potentes ordenadores preparados al efecto no eran capaces más que desentrañar una pequeña parte de ellas, se decidió poner en marcha otro proyecto derivado de este, el SETI@home. Mediante este programa se solicitó la colaboración desinteresada de aquellas

personas dispuestas a poner sus propios ordenadores domésticos a disposición del objetivo un determinado número de horas diarias. Actualmente ha quedado englobado en una plataforma diseñada por la Universidad de Berkeley (California) denominada BOINC (Berkeley Open Infrastructure for Network Computing), que emplea el mismo procedimiento de compartición de ordenadores para realizar supercálculos en diversos campos de la investigación. Actualmente hay más de cinco millones de usuarios en más de doscientos países que están participando en este programa y han contribuido con diecinueve mil millones de horas de sus ordenadores.

Hasta el momento, la única señal de la que no se ha podido descartar un origen extraterrestre se recibió el 15 de agosto de 1977 en el radiotelescopio Big Ear, y tuvo una duración de setenta y dos segundos. Provenía de la constelación de Sagitario y tenía una intensidad treinta veces superior al ruido de fondo. Se la conoce como señal WOW! (equivalente en inglés a la exclamación '¡guau!'), por ser la expresión que escribió en papel del registro el científico Jerry Ehman cuando la descubrió unos días después al estudiar los datos recibidos el día en cuestión.

Como anécdota final a esta cuestión podemos sugerir la lectura del libro *Contacto* (1985), de Carl Sagan, en el que noveliza de manera amena pero científicamente rigurosa el posible contacto a través del proyecto SETI con una civilización extraterrestre. Se llevó al cine con el mismo título, dirigida por Robert Zemeckis, en 1997.

Llegados a este punto y después de tratar los diversos aspectos que nos inducen a pensar sobre la existencia de vida extraterrestre, cómo descubrirla y contactar con ella si es inteligente, se nos plantea el último interrogante: ¿Por qué estamos nosotros aquí? ¿El universo existe tal y como es para albergar especies vivas? ¿Todo forma parte de un plan para que sea posible nuestra existencia? La respuesta parece apuntárnosla el Principio antrópico, que indica que las condiciones de formación y desarrollo de nuestro universo fueron las únicas admisibles que posibilitaron nuestra existencia.

El físico estadounidense Robert Dicke, en 1957. y el astrónomo australiano Brandon Carter, en 1974, son considerados los divulgadores del concepto. El argumento, como acabamos de indicar, es sencillo: el universo parece haber sido concebido cuidadosamente para albergar al ser humano. Cualquier mínimo cambio en sus condiciones iniciales habría formado otro totalmente distinto. En 1986 el cosmólogo británico John D. Barrow y el físico estadounidense Frank J. Tipler publicaron *El principio antrópico cosmológico,* en el que pretendían explicar la increíble serie de coincidencias físicas que permiten nuestra presencia en un universo, que parece haber sido perfectamente preparado para ello.

Cadena de radiotelescopios instalados en el Observatorio del monte Arecibo (Puerto Rico) que recogen la información espacial que luego debe procesarse con ayuda del software del proyecto SETI en búsqueda de señales de inteligencia extraterrestre.

Y una pregunta más: ¿Por qué el universo es tan enorme? El famoso divulgador científico Isaac Asimov tiene una respuesta obvia: «El universo es tan grande porque es muy viejo, y ello es para que nosotros tengamos tiempo de evolucionar».

Ciertamente, la vida, tal como la conocemos, depende de la presencia de elementos tales como el carbono, el nitrógeno y el fósforo, que no se produjeron en el *Big Bang* –como ya comentamos en el capítulo anterior–, en el que tan solo se formó hidrógeno y helio. Los elementos más pesados tuvieron que esperar a la formación de galaxias y estrellas, en cuyo interior se pudiera realizar la nucleosíntesis por la fusión de esos dos elementos primigenios.

El famoso físico Stephen Hawking, de quien también hablamos anteriormente, escribe:

> Para llegar a donde estamos tuvo que formarse una generación previa de estrellas. Esas estrellas convirtieron una parte del hidrógeno y del helio originales en elementos como carbono y oxígeno, a partir de los cuales estamos hechos nosotros. Las estrellas explotaron luego como supernovas, y sus despojos formaron otras estrellas y planetas, entre ellos los de nuestro sistema solar, que tiene alrededor de cinco mil millones de años. Los primeros mil o dos mil millones de años de la existencia de la Tierra fueron demasiado calientes para el desarrollo de cualquier estructura complicada. Los aproximadamente tres mil millones restantes han estado dedicados al lento proceso de la evolución biológica, que ha conducido desde los organismos más simples hasta seres capaces de medir el tiempo transcurrido desde el *Big Bang*.

Pero en este campo, como en tantos otros, todo lo que no es demostrable experimentalmente es siempre objeto de controversia. Otros científicos defienden el denominado principio de mediocridad, que en realidad proviene de la época de Copérnico cuando demostró que la Tierra no era el centro del universo; pero este principio llega más allá, nuestro sistema solar no está en el centro

de la Vía Láctea, sino que como hemos comentado, ocupa uno de sus brazos exteriores, y nuestra propia galaxia tampoco ocupa un lugar preeminente en un cosmos, pues todas se alejan unas de otras por la expansión que sufre. Y, además, cuando han comenzado a descubrirse multitud de planetas extrasolares, el nuestro pasa a ser uno más.

Con todo esto podemos concluir que en realidad la Tierra es un planeta relativamente ordinario, que orbita una estrella ordinaria en una galaxia ordinaria, que a su vez es parte de un número indeterminado de galaxias en un universo ilimitado.

Aunque todavía no tenemos respuesta a muchas de estas preguntas acerca del sentido de nuestra existencia y de la del propio cosmos, Hawking, como siempre, va más allá y deja en el aire la última pregunta: «¿Por qué se molesta el universo en existir?».

Los agujeros de gusano y los viajes intergalácticos

Pero a pesar de estas teorías entre científicas y filosóficas, lo que bien sabemos con certeza es que por el momento estamos aquí, y no hemos sido invadidos por *hombrecillos verdes* como aventuraban novelas tales como *La guerra de los mundos,* de H. G. Wells, ni nos hemos relacionado con civilizaciones benévolas como la descrita en *Contacto* de Carl Sagan, que antes comentamos, aunque quizá estemos siendo observados por seres inteligentes que esperan el momento adecuado de la evolución de la especie humana para desvelarse ante nosotros, como la presentada en el filme *Primer contacto* (1996), perteneciente a la saga *Star Trek*.

Aunque para que por fin nos pongamos en comunicación con otra especie inteligente, como tanto ansiamos, es preciso que estén mucho más adelantados científicamente que nosotros, como todo sagaz lector supondrá.

Por el momento, los viajes interplanetarios son factibles, y así lo hemos demostrado llevando un hombre a la Luna, y pronto, puesto que nuestra tecnología lo permite, un humano paseará por Marte. Pero los viajes interestelares son otra cosa, y mucho más inimaginables son los intergalácticos. Pero vayamos por partes.

La Luna, a la que tardamos en llegar unos tres días con las capacidades actuales de nuestros vehículos espaciales, está sólo a 1,3 segundos luz. La estrella más cercana, por supuesto además del Sol, el cual está a unos ocho minutos luz, es la estrella Próxima Centauri, situada a unos 4,3 años luz, que pertenece al grupo de estrellas denominado Alfa Centauri, en la constelación del Centauro. Pero si nuestra intención es viajar con alguna finalidad, deberemos hacerlo no a una estrella simplemente, sino a un planeta de otro sistema solar. El exoplaneta más cercano se encuentra precisamente en esa misma constelación, orbitando alrededor de la estrella Alfa Centauri B, como vimos en el capítulo anterior. Con las velocidades actuales de nuestros ingenios espaciales se tardarían unos setenta y dos mil años en llegar hasta él, algo que como vemos es un tiempo *bastante* considerable.

Ahora bien, nuestros avances tecnológicos hoy en día convierten en realidad muchas de las fantasías científicas de hace sólo unas décadas, así que es el momento de aventurarnos en lo

desconocido, pero científicamente imaginable, que nos permita realizar estos viajes espaciales. Esto daría respuesta, al mismo tiempo, a otro de los mayores interrogantes actuales, si nosotros fuéramos capaces algún día de viajar a mundos lejanos, ¿no estaremos siendo –y habremos sido anteriormente– visitados por seres que ya han alcanzado esos progresos?

Los ingenios espaciales que tienen base científica no especulativa están basados en reacciones nucleares: las naves con propulsión nuclear de pulso, que funcionarían mediante una serie de explosiones nucleares en su reactor, y las naves de fusión nuclear que funcionarían con deuterio. En todo caso, con estos procedimientos no llegaríamos, en el mejor de los casos, a alcanzar más del diez por ciento de la velocidad de la luz.

Otros ingenios abogarían por recoger mediante un recolector gigantesco, el hidrógeno difuso del espacio interestelar que mediante una reacción de fusión, permitiría obtener velocidades cercanas a las de la luz; se tratarían de los denominados *jets espaciales*. Pero aquí ya estamos entrando en los proyectos meramente especulativos, pues sus posibilidades técnicas están todavía por investigar.

Estamos hablando de viajes espaciales con velocidades alejadas de la propia de la luz, que según los conceptos básicos de la física actual es insuperable. Nada puede ir más rápido que la luz. Pero ¿y si algún día consiguiésemos los avances suficientes como para acercarnos a valores lumínicos de velocidad? La respuesta todavía es más asombrosa: estaríamos viajando en el tiempo.

La teoría de la relatividad especial de Einstein predice que los objetos, a medida que aumentan su velocidad, experimentan una ralentización de su tiempo –se acorta–, que es más evidente cuanto más cercanos estamos a ella. Es de sobra conocida la denominada *paradoja de los gemelos* propuesta por el físico francés Paul Langevin para ilustrar este fenómeno: uno de ellos viaja a una estrella en una nave espacial a velocidades cercanas a la de la luz, mientras que el otro gemelo se queda en la Tierra. A la vuelta, el gemelo terrestre ha envejecido mucho más que su hermano viajero. Aunque el mismo Einstein tardó varios años en demostrar matemáticamente la validez de la situación, concluyó que el resultado sería ese: dos gemelos cuyas vidas se acortan o alargan, respectivamente, dependiendo de la experiencia física de cada uno.

Y no se trata de un juego teórico. En 1971 se llevó a cabo un experimento que demostrase el efecto de dilatación temporal con la velocidad: se colocó un reloj atómico de cesio –el más preciso en esa época– a bordo de un avión que realizó un trayecto de más de cuarenta horas, y se comparó luego su lectura con otro idéntico situado en la Tierra, sincronizado inicialmente con el primero. Después del viaje, el del avión y el de la Tierra ya no estaban sincronizados; el que se había estado moviendo estaba ligeramente retrasado (unas pocas centésimas de milésima de millonésima de segundo). El experimento se repitió varias veces para confirmarlo, y con ello se demostró la ralentización del tiempo cuando un objeto se desplaza, incluso aunque las velocidades de los aviones estaban muy distantes a las de la luz.

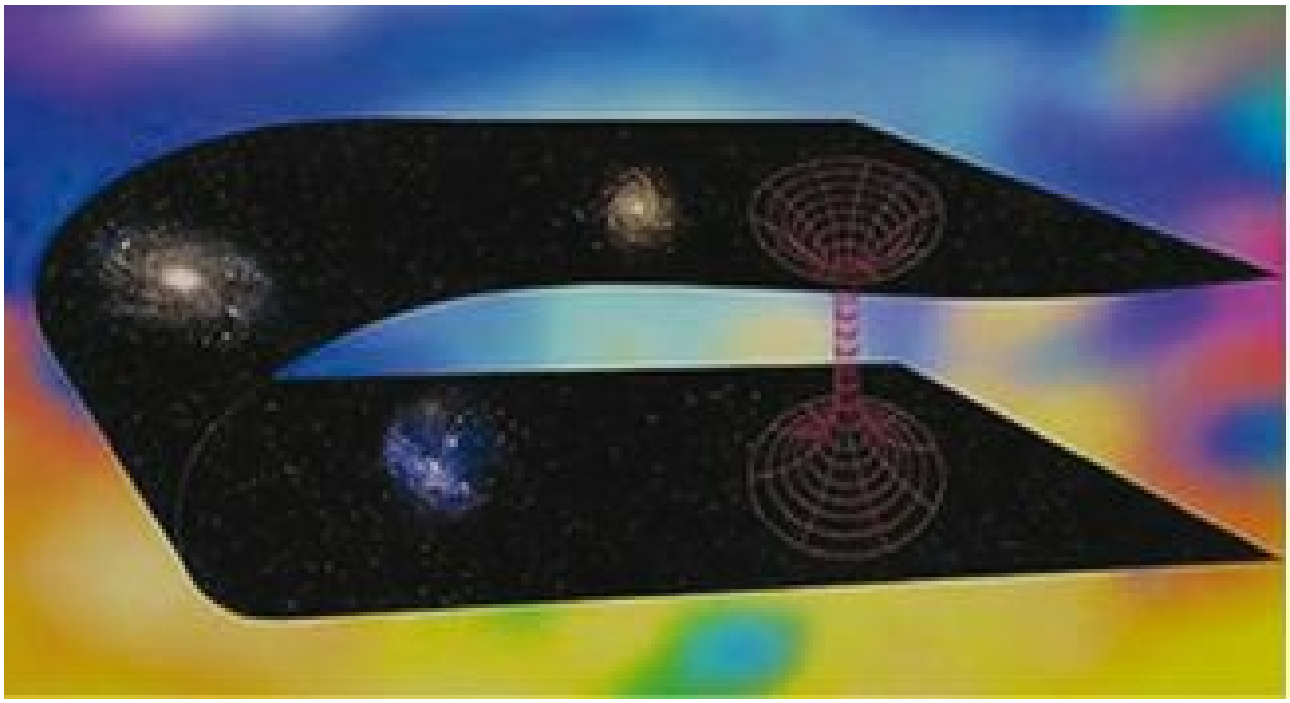
Esta consecuencia física consistente en la ralentización temporal para el astronauta que viaja a grandes velocidades, perfectamente ilustrada en el filme *El planeta de los simios,* que muchos lectores recordarán, permitiría realizar viajes, incluso de tipo intergaláctico, si fuéramos capaces de realizar fantásticos avances en la ingeniería espacial.

Entonces, ¿sólo mediante una tecnología que permita aumentar la velocidad más y más es cómo podremos alcanzar los confines del universo, o existen algunas vías rápidas para conseguirlo? La respuesta es única, esos atajos podrían existir, serían los llamados *agujeros de gusano* cósmicos.

Como tantas veces, la ciencia-ficción se adelanta a la propia ciencia. Recordemos el fantástico filme de Stanley Kubrick *2001: una odisea del espacio* (1968), en el que el astronauta Dave Bowman, en un momento determinado, es absorbido por el espacio y se desplaza de una manera inverosímil por un túnel lleno de estridentes luces de colores para aparecer en una habitación donde suponemos que está siendo observado por esa civilización que nos vigilaba –según proponía la película– desde el principio de nuestro tiempo. Ese es un viaje realizado a través de un *agujero de gusano*.

Este tipo de pasadizos constituyen una curiosa característica topológica del espacio-tiempo propuesta por Ludwig Flamm en 1916 al estudiar las ecuaciones derivadas –una vez más– de la teoría de la relatividad general de Einstein, y que inicialmente se denominó puente de Einstein-Rose. Esta situación describe la posibilidad de comunicar dos puntos del universo, no desplazándose sobre la superficie espacial como hasta ahora hacemos, sino suponiendo que se pueden atravesar sus plegamientos mediante una especie de túneles que comunicarían dos lugares muy distantes del cosmos, y que en 1957 John Wheeler bautizó como *agujeros de gusano*. Es decir, un agujero de gusano tiene dos extremos, conectados a una única garganta, lo que permitiría a la materia viajar de un extremo a otro pasando a través de ella.

Recordemos que en el capítulo anterior comentamos que el astrofísico Roy Kerr postuló que los agujeros negros en rotación contendrían una zona intermedia entre el horizonte de sucesos y el exterior, que denominó ergosfera, que sería el lugar por donde, sin temor a ser engullidos por dicho agujero, podríamos encontrar el pasadizo del que estamos hablando.



Simulación del continuo espacio-tiempo con un agujero de gusano que conecta dos lugares muy distantes entre sí.

La situación ideal sería aquella en la que un agujero negro se conectara mediante el agujero de gusano con un agujero blanco, entidad cósmica sólo teorizada hasta ahora que –al contrario que un agujero negro– tendría la propiedad de expulsar todo aquello que apareciera en su interior.

La existencia de estos túneles necesitaría adicionalmente que estuvieran formados de una sustancia denominada *materia extraña* o *exótica* que contendría energía negativa. Se trata de una materia enigmática cuya extraordinaria tensión de ruptura sería capaz de mantener esos pasajes estables.

Incluso los astrofísicos conjeturan acerca de la existencia de agujeros de gusano de tipo interuniversos que permitirían asociar un universo con otro diferente y comunicarse entre ellos, e incluso especulan con la posibilidad de que pudieran realizarse también con ellos viajes en el tiempo.

La energía oscura y el fin del universo

Y poco a poco estamos llegando al final de lo que conocemos o suponemos que algún día podremos conocer, y lo concretamos así porque ya en muchas ocasiones el cosmos nos ha dado muchas sorpresas, descubriéndonos objetos o comportamientos que nunca habríamos llegado a ni siquiera a imaginar.

Y el final de todo es el fin del universo tal y como lo conocemos. Los científicos aventuran varias hipótesis que tienen dos elementos en común: materia y energía. La existencia de un tipo de materia que casi no hemos podido comenzar a investigar por su característica más peculiar: no se puede ver, se trata de la denominada *materia oscura* y de una energía aún más insólita, la *energía oscura*. Vamos a intentar describirlas y explicar las consecuencias de su existencia a continuación.

En el capítulo anterior comentamos brevemente este tipo de materia al explicar cómo, en 1933, el astrofísico Fritz Zwicky observó que el conjunto de galaxias del cúmulo Coma se movía como si contuviera más materia de la observable por los instrumentos telescópicos. La existencia de materia indetectable pareció la única respuesta plausible. La situación es algo parecida a lo que ocurre con los exoplanetas, algunos no podemos percibirlos, pero somos capaces de comprobar los efectos gravitacionales anómalos que producen en los objetos que se hallan en sus cercanías.

Como tantas veces en astronomía, el hecho de que no podamos observar algo no significa que no exista; posiblemente lo que ocurre es que nuestros instrumentos de investigación o medida todavía no son lo suficientemente precisos para detectarla.

El fenómeno predicho en la teoría de la relatividad general –y luego comprobado experimentalmente– acerca de la existencia de lentes gravitacionales, que serían objetos tan masivos que podrían curvar la trayectoria de la luz que percibimos de objetos distantes, es uno de los métodos por los que los científicos pueden descubrir la existencia de más materia que la visible en una galaxia que se interpone como una lente en el viaje de la luz distante hacia la Tierra.

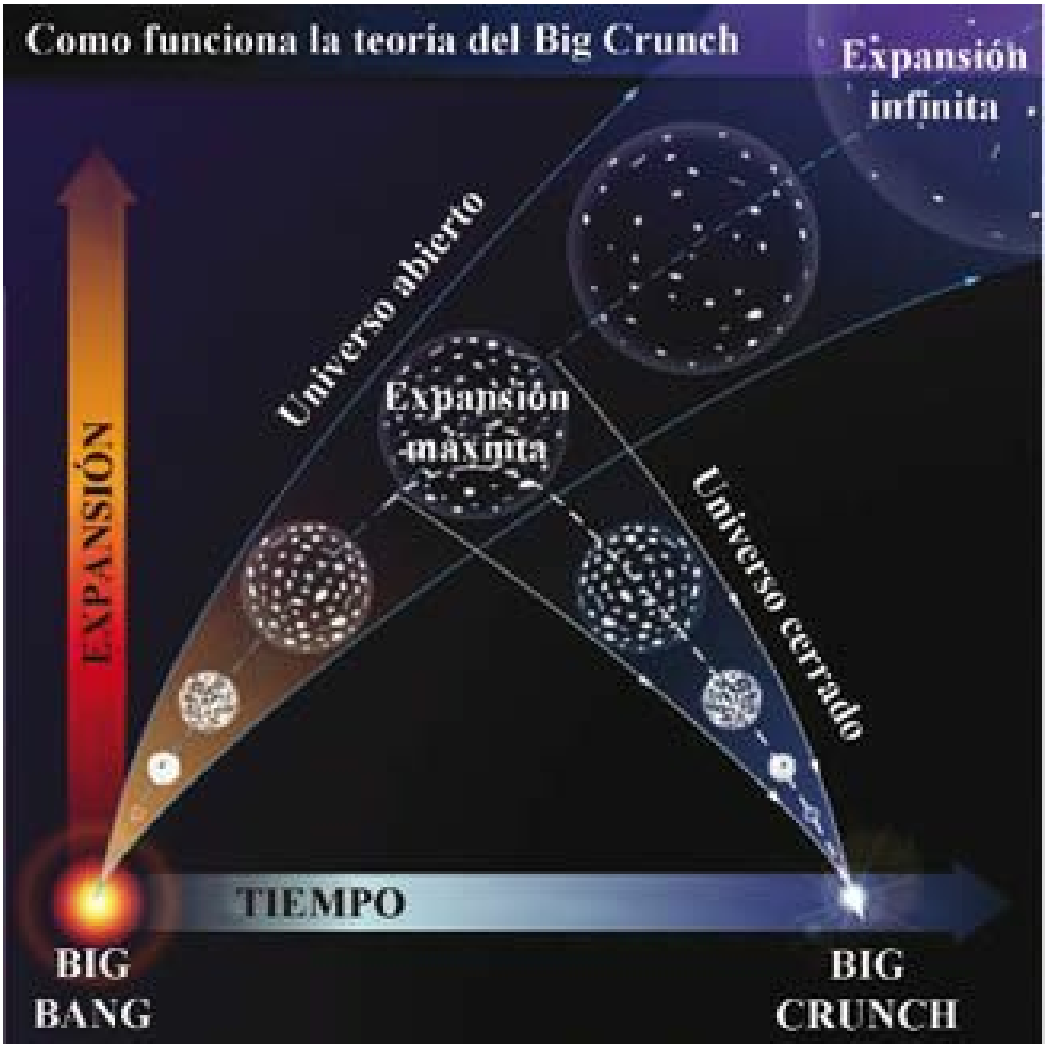
Pero ¿de qué está formada esa materia oscura? No lo sabemos bien todavía. Anteriormente ya adelantamos algunos de sus componentes: neutrinos, nubes de gases, enanas marrones, blancas o rojas muy débiles, e incluso planetas aislados, pero esos objetos por sí solos no podrían llegar a

contener el veintitrés por ciento de la materia del cosmos, cuando la materia visible sólo alcanza un escaso cinco por ciento.

Y ¿dónde está el restante setenta y dos por ciento del universo? Parece que los últimos descubrimientos lo asocian con la energía oscura. Esta energía parece estar distribuida en todo el espacio y producir una presión que genera una fuerza gravitacional repulsiva que tiende a acelerar la expansión del universo.

Los astrofísicos estadounidenses Adam Riess y Saul Perlmutter comprobaron en 1998 este proceso de aceleración de la expansión del universo mediante el estudio de las supernovas. Estas perturbaciones sólo pueden ser posibles si existe un tipo de energía desconocida, la energía oscura, bautizada así por el cosmólogo Michael Turner, que provoque tan intensa repulsión entre la materia que conduzca a grandes aceleraciones expansivas. Ambos recibieron el Premio Nobel por sus investigaciones en este campo en 2011.

Los últimos descubrimientos de los astrofísicos inducen a pensar que este tipo de energía no estaba presente –o no actuaba– en los primeros cuatro mil millones de años de vida del universo, puesto que la expansión se desaceleraba poco a poco, pero a partir de ese momento –en los últimos nueve mil setecientos millones de años– está influenciando todo el cosmos con un ritmo acelerado de crecimiento.



Evolución del universo desde el Big Bang en continua expansión hasta su muerte térmica –Big Freeze– o bien hasta que el ciclo de contracción lo conduzca hasta el colapso, Big Crunch.

Si consideramos todo lo que hemos comentado respecto de los dos factores básicos para comprender nuestro futuro, nos encontramos ante tres escenarios distintos para el fin del universo:

1. Si la expansión del universo producida por la energía oscura sigue acelerándose más y más, llegará un momento en que provocará la separación de la materia en sus átomos constituyentes, e incluso en la desintegración de ellos mismos, lo que provocaría el denominado *Big Rip* ('Desgarramiento del universo').
2. Si la materia oscura presente en el universo fuera tal que llegara a superar la acción repulsiva de las fuerzas expansivas –o estas dejaran de actuar en un momento determinado–, la situación que se produciría sería el progresivo acercamiento por atracción de todos los objetos estelares, lo que provocaría una especie de marcha atrás en la evolución del universo hasta que todo volviese a colisionar englobándose en el punto primigenio, se trataría de un *Big Crunch* ('Aplastamiento del universo').
3. El estado intermedio entre ambos especula con que el universo seguirá en expansión, pero cada vez de forma más lenta, hasta que desaparezcan todas las estrellas y los objetos residuales sean poco a poco engullidos por agujeros negros, que irán desapareciendo también

paulatinamente por la emisión de radiación de Hawking, que ya comentamos al hablar de ellos; se trata de un escenario denominado *Big Freeze* ('Muerte térmica del universo').

Los científicos especulan y escudriñan para poder dar una respuesta final a todo nuestro ciclo de existencia, buscan señales que los ayuden a comprender cuál de los diversos escenarios será por fin el que nos aguarde.

Posiblemente los nuevos avances en la investigación o en los instrumentos de observación o detección nos permitan responder a muchas de las incógnitas que hemos planteado en este apartado, y como consecuencia saber por fin adónde vamos, cuál es nuestro destino final. Pero no debemos preocuparnos demasiado por esa eventualidad más allá de los implícitos filosóficos que comprende, porque cualquiera de estos finales no se escribirá hasta dentro de al menos un billón de años, y este lapso, sí que es *mucho, mucho tiempo*.

¿Y DESPUÉS? ¿HACIA UN NUEVO PRINCIPIO? LOS UNIVERSOS PARALELOS

Querido lector, ya sé que pensarás: «¿Cómo que después? Pero ¿no había llegado el universo a su fin?».

Pues a pesar de eso, quizá no hayamos llegado al final de todo.

Si la situación con la que concluye nuestro universo fuera la segunda que hemos comentado en el apartado anterior, el *Big Crunch,* existiría entonces una posible continuidad.

Los científicos especulan con la posibilidad de que esta sea una situación de rebote, y que, por tanto, ese proceso conduzca a un escenario tal que el destino último del universo sea capaz de producir de nuevo un *Big Bang* y todo comience otra vez.

Incluso, si esto fuera posible, quizá nos encontraríamos que nuestro universo ya ha experimentado este proceso una o infinidad de veces más, con lo que el transcurrir de los tiempos podría haberse producido ya un incontable número de veces. Esta teoría se denomina del universo oscilante, y fue enunciada por primera vez por el profesor Richard Tolman, de la Universidad de California.

Así que nuestro universo podría ser el resultado de continuas expansiones seguidas de sus correspondientes ciclos de contracciones. De ahí el nombre de oscilante que recibe una situación como la descrita aquí.

Aunque obviamente ha suscitado muchas controversias, en la actualidad ha vuelto a resurgir con fuerza en la comunidad científica.

Pero además de que quizá se produzca un continuo principio-fin del universo, los científicos van más allá y especulan con la posibilidad de que existan universos paralelos, que nuestra realidad sea la de un multiverso.

Aunque la idea provenía de finales del XIX, fue el físico estadounidense Hugh Everett (1930-1982) quien a finales de los años cincuenta propuso la primera teoría del multiverso, también llamada de los universos paralelos. Esta extravagante propuesta fue rápidamente arrinconada por la comunidad científica. Sólo cuando el cosmólogo estadounidense de origen sueco, Max Tegmark (nacido en 1967), concibió un argumento matemático para este tema; junto con los recientes avances en cosmología y las consecuencias de la mecánica cuántica, el interés científico volvió a primera plana.

Su desarrollo incorpora una clasificación de multiversos de cuatro tipos que él denomina de niveles I, II, III y IV. Cada uno de estos multiversos contiene infinitos tipos de universos en donde varían entre ellos incluso las constantes físicas o las leyes fundamentales de la física.

De hecho, existen también múltiples argumentos acerca de que quizá los diferentes universos no son más que copias gemelas del nuestro, donde otro yo está leyendo ahora este mismo libro.

Las implicaciones filosóficas son inmensas, y la imaginación científica sobrepasa nuestros límites. Los intentos de la ciencia ahora se dirigen a comprobar experimentalmente estas posibilidades, de hecho algunos experimentos ya dan señales de que esta situación es factible.

La ciencia ficción ha dado numerosos ejemplos de este tema, baste sólo con recordar las últimas imágenes del film *Hombres de negro* (1997), en donde un extraño ser arroja nuestro universo, transformado en una especie de canica, a una bolsa donde existen muchas más de ellas. O la galardonada saga de comics *Crisis en tierras infinitas* (1985), de la editorial DC, que muchos aficionados a este arte recordarán, donde la base argumental es este componente multiuniversal.

El multiverso, un conjunto infinito de universos con sus características físicas propias, algunos como el nuestro, incluso gemelo, y otros muy diferentes, nacidos todos del Big Bang.

Entonces no todo está perdido, existimos aquí y ahora, y posiblemente en algún otro universo o en muchos, y quizá cuando unos colapsen otros comiencen, y el ciclo vital universal se mantenga indefinidamente.

Nuestra existencia está en juego, el descubrimiento de estas opciones científicas nos devuelve la esperanza de la inmortalidad, en ese devenir de los tiempos cuando todo suceda y cuando todo vuelva a empezar, cuando la realidad del cosmos nos resulte transparente, cuando conozcamos los misterios insondables, cuando vivamos para siempre.

Y aquí llegamos al final del viaje, al final de ese viaje cósmico que empezaba en el primitivo observatorio de Goseck hace casi siete mil años y que nos ha transportado por los momentos más trascendentes de la evolución del conocimiento de nuestro entorno cercano y del más lejano, nos ha descubierto nuevos mundos, nos ha hecho sorprendernos con la capacidad humana para ir siempre más allá y nos ha permitido soñar.

Soñar como hacíamos desde chicos con la magia del universo, cuando nos hablaban del cielo y de las estrellas y leíamos fantásticos relatos de ciencia-ficción y comprendíamos que detrás de esos sueños es muy posible que aparezcan realidades; sólo hay que tener curiosidad, empeño y deseos de conocer.

Y hoy, con los descubrimientos y conocimientos actuales y las pistas que nos conducen hacia los que están por venir, podemos concluir, volviendo a descubrir eso que ya advertíamos al principio, que la Astronomía es una ciencia hecha del material con el que se forjan los sueños.

BIBLIOGRAFÍA

Alberdi, Antxon y López de Lacalle, Silbia (coordinadores). Un viaje al cosmos de 52 semanas. Madrid: CSIC, 2007.

Altschuler, David Roberto. Hijos de las estrellas. Madrid: Akal, 2004.

Aupí, Vicente. Los enigmas del cosmos. Barcelona: Planeta, 2001.

Barrow, John D. El libro de los universos. Barcelona: Crítica, 2012.

Casado, Javier. Houston, tenemos un problema. Madrid: El Rompecabezas, 2005.

Corfield, Richard. La vida de los planetas. Barcelona: Paidós, 2009.

Fernández, Telmo y Montesinos, Benjamín. El desafío del universo. Madrid: Espasa Calpe, 2007.

Greene, Brian B. El tejido del cosmos. Barcelona: Crítica, 2004.

Halpern, Paul. Agujeros de gusano cósmicos. Barcelona: Ediciones B, 1993.

Hawking, Stephen. Historia del tiempo. Barcelona: Crítica, 1988.

Hawking, Stephen. El universo en una cáscara de nuez. Barcelona: Crítica, 2001.

Hofstadler, Dan. La Tierra se mueve. *Galileo y la Inquisición*. Barcelona: Antoni Bosch Editor, 2009.

Impey, Chris. Una historia del cosmos. Barcelona: Planeta, 2010.

Jou, David. Reescribiendo el Génesis. Barcelona: Destino, 2008.

Krauss, Lawrence. Historia de un átomo. Pamplona: Laeroli, 2005.

Martín, Alberto. Breve historia de la carrera espacial. Madrid: Ediciones Nowtilus, 2009.

Maury, Jean Pierre. Newton y la mecánica celeste. Madrid: Blume, 2012.

Murdin, Paul. Secretos del universo. Madrid: Akal, 2009.

Nelson, Sue y Hollingham, Richard. Cómo clonar a la rubia perfecta. Madrid: Ediciones Nowtilus, 2005.

Robinson, Andrew (coordinador). Los grandes científicos. Barcelona: Lunwerg, 2012.

Samsó, Julio. Astrometeorología y astronomía medievales. Barcelona: Publicacions i Edicions de la Universitat de Barcelona, 2008.

Teresi, Dick. Los grandes descubrimientos perdidos. Barcelona: Crítica, 2004.

Weinberg, Steven. Los tres primeros minutos del universo. Madrid: Alianza, 1978.

Webgrafía

www.anatomiadelahistoria.com Una revista digital especializada en la divulgación de la historia.

www.astro-digital.com Revista digital de astronomía por iniciativa de AstroRED.

www.astronomia.com Revista digital de astronomía.

www.cosmopediaonline.com Una guía astronómica del internauta.

www.danielmarin.es/hdc/astronomiaarabe.htm Espacio digital de la Agrupación Astronómica de Gran Canaria.

www.dolmentierraviva.blogspot.com.es Blog sobre los dólmenes y menhires.

www.history.mcs.st-andrews.ac.uk Revista digital de biografías de la Universidad de St. Andrews, en Escocia.

www.istp.gsfc.nasa.gov/stargaze Revista digital de astronomía.

www.portalciencia.net Portal que incluye extensa información sobre astronomía.

www.tayabeixo.com Revista digital de la Asociación Larense (Venezuela) de Astronomía.

www.unicauca.edu.co/aida Revista digital de la Agrupación para el Impulso y Desarrollo de la Astronomía.

www.windows2universe.org Portal que incluye extensa información sobre las ciencias de la Tierra y del espacio.

Colección Breve Historia…

- Breve historia de los samuráis, Carol Gaskin y Vince Hawkins
- Breve historia de los vikingos, Manuel Velasco
- Breve historia de la Antigua Grecia, Dionisio Mínguez Fernández
- Breve historia del Antiguo Egipto, Juan Jesús Vallejo
- Breve historia de los celtas, Manuel Velasco
- Breve historia de la brujería, Jesús Callejo
- Breve historia de la Revolución rusa, Íñigo Bolinaga
- Breve historia de la Segunda Guerra Mundial, Jesús Hernández
- Breve historia de la Guerra de Independencia española, Carlos Canales
- Breve historia de los íberos, Jesús Bermejo Tirado
- Breve historia de los incas, Patricia Temoche
- Breve historia de Francisco Pizarro, Roberto Barletta
- Breve historia del fascismo, Íñigo Bolinaga
- Breve historia del Che Guevara, Gabriel Glasman
- Breve historia de los aztecas, Marco Cervera
- Breve historia de Roma I. Monarquía y República, Bárbara Pastor
- Breve historia de Roma II. El Imperio, Bárbara Pastor
- Breve historia de la mitología griega, Fernando López Trujillo
- Breve historia de Carlomagno y el Sacro Imperio Romano Germánico, Juan Carlos Rivera Quintana
- Breve historia de la conquista del Oeste, Gregorio Doval
- Breve historia del salvaje oeste. Pistoleros y forajidos. Gregorio Doval
- Breve historia de la Guerra Civil Española, Íñigo Bolinaga
- Breve historia de los cowboys. Gregorio Doval
- Breve historia de los indios norteamericanos, Gregorio Doval
- Breve historia de Jesús de Nazaret, Francisco José Gómez
- Breve historia de los piratas, Silvia Miguens
- Breve historia del Imperio bizantino, David Barreras y Cristina Durán

- Breve historia de la guerra moderna, Francesc Xavier Hernández y Xavier Rubio
- Breve historia de los Austrias, David Alonso García
- Breve historia de Fidel Castro, Juan Carlos Rivera Quintana
- Breve historia de la carrera espacial, Alberto Martos
- Breve historia de Hispania, Jorge Pisa Sánchez
- Breve historia de las ciudades del mundo antiguo, Ángel Luis Vera Aranda
- Breve historia del Homo Sapiens, Fernando Diez Martín
- Breve historia de Gengis Kan y el pueblo mongol, Borja Pelegero Alcaide
- Breve historia del Kung-Fu, William Acevedo, Carlos Gutiérrez y Mei Cheung
- Breve historia del condón y de los métodos anticonceptivos, Ana Martos Rubio
- Breve historia del Socialismo y el Comunismo, Javier Paniagua
- Breve historia de las cruzadas, Juan Ignacio Cuesta
- Breve historia del Siglo de Oro, Miguel Zorita Bayón
- Breve historia del rey Arturo, Christopher Hibbert
- Breve historia de los gladiadores, Daniel P. Manix
- Breve historia de Alejandro Magno, Charles Mercer
- Breve historia de las ciudades del mundo clásico, Ángel Luis Vera Aranda
- Breve historia de España I, las raíces, Luis E. Íñigo Fernández
- Breve historia de España II, el camino hacia la modernidad, Luis E. Íñigo Fernández
- Breve historia de la alquimia, Luis E. Íñigo Fernández
- Breve historia de las leyendas medievales, David González Ruiz
- Breve historia de los Borbones españoles, Juan Granados
- Breve historia de la Segunda República española, Luis E. Íñigo Fernández
- Breve historia de la Guerra del 98, Carlos Canales y Miguel del Rey
- Breve historia de la guerra antigua y medieval, Francesc Xavier Hernández y Xavier Rubio
- Breve historia de la Guerra de Ifni-Sáhara, Carlos Canales y Miguel del Rey
- Breve historia de la China milenaria, Gregorio Doval
- Breve historia de Atila y los hunos, Ana Martos
- Breve historia de los persas, Jorge Pisa Sánchez
- Breve historia de los judíos, Juan Pedro Cavero Coll
- Breve historia de Julio César, Miguel Ángel Novillo López

- Breve historia de la medicina, Pedro Gargantilla
- Breve historia de los mayas, Carlos Pallán
- Breve historia de Tartessos, Raquel Carrillo
- Breve historia de las Guerras carlistas, Josep Carles Clemente
- Breve historia de las ciudades del mundo medieval, Ángel Luis Vera Aranda
- Breve historia del mundo, Luis E. Íñigo Fernández
- Breve historia de la música, Javier María López Rodríguez
- Breve historia del Holocausto, Ramon Espanyol Vall
- Breve historia de los neandertales, Fernando Diez Martín
- Breve historia de Simón Bolívar, Roberto Barletta
- Breve historia de la Primera Guerra Mundial, Álvaro Lozano
- Breve historia de Roma, Miguel Ángel Novillo López
- Breve historia de los cátaros, David Barreras y Cristina Durán
- Breve historia de Hitler, Jesús Hernández
- Breve historia de Babilonia, Juan Luis Montero Fenollós
- Breve historia de la Corona de Aragón, David González Ruiz
- Breve historia del espionaje, Juan Carlos Herrera Hermosilla
- Breve historia de los vikingos (reedición), Manuel Velasco
- Breve historia de Cristóbal Colón, Juan Ramón Gómez Gómez
- Breve historia del anarquismo, Javier Paniagua
- Breve historia de Winston Churchill, José Vidal Pelaz López
- Breve historia de la Revolución Industrial, Luis E. Íñigo Fernández
- Breve historia de los sumerios, Ana Martos Rubio
- Breve historia de Cleopatra, Miguel Ángel Novillo
- Breve historia de Napoleón, Juan Granados
- Breve historia de al-Ándalus, Ana Martos Rubio

Próximamente…

- Breve historia de Fernando el Católico, José María Manuel García Osuna
- Breve historia del islam, Ernest Y. Bendriss
- Breve historia de la literatura española, Jesús Hurtado Bodelón

nowtilus
www.nowtilus.com

BREVE HISTORIA de la...

ASTRONOMÍA

Ángel R. Cardona

Breve historia de la astronomía le acercará fácilmente a conocer el universo y cómo ha evolucionado en el devenir de los tiempos. Descubra la antigüedad de la bóveda celeste, cómo la Tierra dejó de ser el centro del universo conocido para que el Sol ocupase su lugar, y cómo se fue avanzando hasta los últimos descubrimientos del siglo XXI.

Un recorrido por la historia de la astronomía para conocer a los principales científicos, cómo se formaron los planetas y las estrellas, cómo será el fin de nuestro sistema solar, qué otros objetos pueblan el cosmos, cómo al mirar el cielo estamos viendo el pasado del universo, cuál fue su principio y cuál será su fin más probable.

Con esta obra aprenderá cuál ha sido la evolución de las técnicas e instrumentos que se emplean para observar el cielo y recibir información de él.

Atrévase a descubrir si podremos vivir los seres humanos en otros planetas y qué pasará tras el fin del universo.

BREVE HISTORIA
www.BreveHistoria.com

Síganos en Facebook
www.facebook.com/brevehistoria

Visite la web y descargue fragmentos gratuitos de los libros, participe en los foros de debate temáticos y mucho más.